

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 5 (74)**



**IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY**

**2023**

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 (74)



IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY

2023

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 5 (74)  
Юбилейный выпуск к 20-летию журнала

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  
№ 5 (74)  
Issue for the 20<sup>th</sup> anniversary of the journal

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"

© Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2023

# ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал

4 номера в год

№ 5 (74)

Юбилейный выпуск к 20-летию журнала

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, профессор кафедры 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, старший научный сотрудник, 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  
№ 5 (74)  
Issue for the 20<sup>th</sup> anniversary of the journal

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;

**Laptev 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

### *Из истории Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*

<b>Красникова Ю.Н., Нарыкова Н.М.</b> Профессор Е.Ф. Лискун (1873–1958): организатор сельскохозяйственного образования и успешный ученый. К 150-летию со дня рождения.....	9
--	---

### АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<b>Никулин А.Б., Погодина А.Ю., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф.</b> Формирование укосных травостоев с козлятником восточным сорта юбилар с разными нормами высева в условиях Ленинградской области.....	16
<b>Гаспарян И.Н., Петрова М.А., Гаспарян Ш.В.</b> Комплексная оценка новых столовых и пригодных к промышленной переработке сортов картофеля.....	25
<b>Футкарадзе Д.А., Суровцева Ю.С., Царенко В.П.</b> Влияние оптимизации овощных севооборотов на воспроизводство плодородия дерново – подзолистых почв.....	36
<b>Занилов А.Х., Адаев Н.Л., Белопухов С.Л., Улимбашев А.М.</b> Влияние приемов биомодификации минеральной системы питания на продуктивность кукурузы и экономическую эффективность системы удобрения в условиях республики Северная Осетия-Алания.....	47
<b>Салих Р.Х.С.</b> Содержание минеральных веществ в семенах разных сортов нигеллы посевной ( <i>Nigella sativa L.</i> ).....	59
<b>Осипова Г.С., Салих Р.Х.С.</b> Высокоэффективная жидкостная хроматография при анализе (hplc) жирорастворимых витаминов у различных сортов нигеллы посевной ( <i>Nigella sativa l.</i> ) .....	65
<b>Агапова П.В., Киселёв М.В., Фрейдкин И.А.</b> Оценка биологической эффективности применения обесфторенного фосфогипса в качестве удобрения в прямом действии....	72

### ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

<b>Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Дорохин Н.А.</b> Особенности роста и развития мускулатуры и скелета бычков симментальской породы в зависимости от технологии выращивания.....	81
<b>Шараськина О.Г., Алексеева Е.И., Фисенко А.А.</b> Переваримость питательных веществ рациона у лошадей при использовании комбикормов на основе микронизированного зерна.....	94

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Дидманидзе О.Н., Москвичев Д.А., Хакимов Р.Т., Спиридонов А.М.</b> Оценка достоверности экспериментальных данных технического обслуживания модульного транспорта сельскохозяйственного назначения .....	104
<b>Курченко Н.Ю., Баракин Н.С.</b> Моделирование режимов работы автономного источника для БПЛА в программе SimInTech.....	113
<b>Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П.</b> Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях .....	121

## CONTENTS

### *Saint-Petersburg State Agrarian University history pages*

<b>Krasnikova Yu.N., Narykova N.M.</b> Professor Efim Fedotovich Liskun (1873-1958): organizer of agricultural education and successful scientist. To the 150 <sup>th</sup> anniversary of his birth.....	9
---	---

### AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

<b>Nikulin A.B., Pogodina A.Yu., Kokorina A.L., Ganusevich F.F.</b> Formation of mowing grass stands with eastern goat's rue variety Jubilyar with different seeding rates in the conditions of the Leningrad Region .....	16
<b>Gasparyan I.N., Petrova M.A., Gasparyan Sh.V.</b> Integrated assessment of new table varieties and suitable for industrial processing.....	25
<b>Futkaradze D.A., Surovtseva Yu.S., Tsarenko V.P.</b> Influence of optimization of vegetable crop rotations on fertility reproduction of sod-podzolic soils.....	36
<b>Zanilov A.H., Adaev N.L., Belopukhov S.L., Ulimbashev A. M.</b> Influence of biomodification techniques of mineral nutrition system on maize productivity and economic efficiency of fertilisation system in conditions of the Republic of North Ossetia-Alania.....	47
<b>Salih R.H.</b> Mineral content in seeds of different <i>Nigella</i> sowing varieties ( <i>Nigella sativa</i> L.)...	59
<b>Osipova G.S., Salih R.H.</b> High-performance liquid chromatography analysis (HPLC) of fat-soluble vitamins from different <i>Nigella sativa</i> L. varieties.....	65
<b>Agapova P.V., Kiselev M.V., Freidkin I.A.</b> Assessment of the biological effectiveness of using defluorinated phosphogypsum as a direct fertilizer.....	72

### ANIMAL AND VETERINARY SCIENCE

<b>Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., Dorokhin N.A.</b> Growth features and muscular and skeleton development of Simmental breed bulls depending on rearing technology.....	81
<b>Sharaskina O.G., Alekseeva E.I., Fisenko A.A.</b> Digestibility of dietary nutrients in horses when using combined feeds based on micronized grains.....	94

### AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY

<b>Didmanidze O.N., Moskvichev D.A., Khakimov R.T., Spiridonov A.M.</b> Assessing the reliability of experimental data on the maintenance of modular agricultural transport.....	104
<b>Kurchenko N.Yu., Barakin N.S.</b> Simulation of the operating modes of an autonomous source for UAVs in the SimInTech program.....	113
<b>Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya., Mastepanenko M.A., Epifanov A.P.</b> Assessment of operational reliability of rural electric networks by statistical data on outages.....	121

Научная статья

УДК 636(092)

doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-9-15

**ПРОФЕССОР ЕФИМ ФЕДОТОВИЧ ЛИСКУН (1873–1958): ОРГАНИЗАТОР  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ И УСПЕШНЫЙ УЧЕНЫЙ.  
К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

**Ю.Н. Красникова<sup>1</sup> ✉, Н.М. Нарыкова<sup>1</sup>**

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Санкт-Петербург, Россия;  
✉ julia2404@mail.ru

**PROFESSOR EFIM FEDOTOVICH LISKUN (1873-1958): ORGANIZER  
OF AGRICULTURAL EDUCATION AND SUCCESSFUL SCIENTIST.  
TO THE 150<sup>th</sup> ANNIVERSARY OF HIS BIRTH**

**Yu. N. Krasnikova<sup>1</sup> ✉, N.M. Narykova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Agrarian University,  
Saint Petersburg, Russia  
✉ julia2404@mail.ru

О Ефиме Федотовиче Лискуне писать сегодня и просто, и сложно. Академик! Начиная свою деятельность в империи, а при советской власти получил все научные регалии. Эта часть его жизни связана с Московской сельскохозяйственной академией имени К.А. Тимирязева. Именно это учебное заведение получило в дар от ученого его уникальную коллекцию, что стало основой знаменитого музея животноводства, сейчас носящего его имя. О московском периоде жизни Ефима Федотовича написано немало работ [1, 2, 3].

Но в его жизни был не менее значимый петербургский период (1906–1923 гг.), когда закладывалась основа его восхождения в науку и преподавании. Этот период его карьеры чаще упоминается лишь вскользь. Он тесно связан с ранней историей Стебутовских курсов и Ленинградского сельскохозяйственного института (ныне Санкт-Петербургского государственного аграрного университета). Лискун стоял у истоков этих профессиональных образовательных учреждений как руководитель, учёный, преподаватель. Его личная история сегодня – пример упорного профессионального труда, глубокой мотивации. Наше исследование закроет эту историческую лауну.

Ефим Федотович Лискун родился 27 октября 1873 г. в семье малоземельного крестьянина в Бессарабской губернии (ныне – Черниговская обл.). Начальное образование получил в сельской школе, затем поступил в Хотинское уездное училище для подготовки мастеров сапожного дела и окончил его в 1888 г. Потом – успешное завершение обучения в Херсонском земледельческом училище, где и проявился интерес Е.Ф. Лискуна к изучению животноводства. По окончании он остался там в должности заведующего фермой.

В 1896 г. Лискун поступил в Московский сельскохозяйственный институт. Нелегко было простому пареньку без необходимой сословной принадлежности пройти по конкурсу, но он смог. Здесь начиналась его научная деятельность: он выполнил большую

научно-исследовательскую работу на тему «Краниологический метод в практическом применении к определению пород крупного рогатого скота» (1899).

Окончив институт в 1900 г., Лискун отправился в Германию и Австрию совершенствовать знания по краниологии. Постепенно он начал собирать коллекцию черепов сельскохозяйственных животных, научная ценность которой состояла в том, что они были получены из различных природных зон Европы и Азии и наглядно иллюстрировали изменчивость черепов под влиянием климатических, географических, хозяйственно-экономических условий.

После возвращения из заграничной командировки Ефим Федотович работал заведующим экономо-оценочным отделом Бессарабского земства, управляющим Томской низшей сельскохозяйственной школой. В Мариинском земледельческом училище Саратовской губернии (а позднее – в Казанском) преподавал почвоведение, математику, географию, ботанику, земледелие. Параллельно вел работу в области животноводства.

В 1906 г. по рекомендации Ивана Александровича Стебута – выдающегося агронома и организатора сельскохозяйственного образования в России – Ефим Федотович Лискун был избран на должность профессора Высших женских сельскохозяйственных курсов имени И.А. Стебута в Петербурге. Курсисткам помимо дисциплин, связанных с земледелием, читались зоотехния, анатомия и физиология животных, зоогигиена [4; с. 14–15].

В 1906 г. по рекомендации И.А. Стебута в 33 года (!) стал директором уникального учебного заведения – Высших женских сельскохозяйственных курсов. В течение всех лет существования курсов (1904–1917 гг.) их слушательницами стали более 4 тыс. человек [5].

При активном участии директора Лискуна в составлении нового Положения о курсах 11 мая 1907 г. каждому окончившему курсы Департаментом Земледелия «были дарованы права и звание агронома» [6; с. 5–14, 26–35]. В 1908 г. было впервые применено положение об особой испытательной комиссии для сдачи выпускных экзаменов, разработанное в 1907 г. Таким образом, де-факто курсы были превращены в высшее учебное заведение. Это было первое в Российской империи и Европе высшее специальное сельскохозяйственное учебное заведение для женщин.

Вскоре профессор Лискун стал членом Ученого комитета Министерства земледелия (с 1905 г. – Главного Управления землеустройства и земледелия) – совещательного учреждения Министерства, образованного для обсуждения и разработки научных и технических вопросов сельского хозяйства, рассмотрения научных сочинений, учебных курсов и пособий по сельскому хозяйству, организации конкурсов и т. п. [7; с. 1018–1019].

В 1906 г. при Ученом комитете Главного управления земледелия и землеустройства Е.Ф. Лискун организовал первое в России научно-исследовательское учреждение в области животноводства с собственной лабораторией – Бюро по зоотехнии.

Вскоре он стал членом Ученого комитета Министерства земледелия (до 1918 г.), которое впоследствии его усилиями было преобразовано в Государственный институт опытной агрономии, а на базе руководимого им отдела зоотехнии в 1929 г. был организован Всесоюзный научно-исследовательский институт животноводства (ВИЖ).

Ефим Федотович руководил Стебутовскими курсами до 1917 г. Нельзя сказать, что это была легкая задача. Будучи директором, он боролся с текучестью кадров. Низкая заработная плата профессора (5 рублей за лекцию) вынуждала преподавателей увольняться [6; с. 32–33]. Радея за качество учебного процесса, в 1913 г. Лискун обращается в Департамент земледелия с заявлением о кризисе в управлении курсами, одной из причин которого являлось несоответствие состояния Княжедворской фермы – основной базы летних практик – учебным требованиям.

Конечно, на жизни курсов сказалась и бурлящая политическая обстановка в Российской империи, ведь это время первой российской революции: лихорадка студенческих забастовок, политические демонстрации и подпольная революционная деятельность. 11 июля 1907 г. вышел запрет политической деятельности в стенах сельскохозяйственных учебных заведений, а в 1908 г. 37 слушательниц из 98 примкнули к всеобщей политической забастовке. За это курсистки были отчислены и прекратили участие в академической жизни курсов.

В 1908 и 1911 гг. курсы закрывались на неделю, но после проверок занятия возобновлялись снова.

Можно предположить, что Лискун, делая научную и управленческую карьеру в период своего директорства проявлял самые лучшие качества – умение объединять поколения преподавателей, уважать труд коллег.

Во время руководства Курсами Ефим Федотович опубликовал ряд научных работ и заложил в СПбГАУ основы научной школы по кормлению сельскохозяйственных животных. Его исследования по рационализации кормления молочного скота были начаты еще в 1911 г.: «Наставления по животноводству»; «Краткие сведения о животноводстве некоторых русских хозяйств: по данным, полученным от хозяев»; «Крестьянская лошадь Северной России»; «Хозяйственное значение скармливания домашним животным сильных кормов» [8–11] – вот неполный список опубликованных работ Лискуна за этот период.

Особая часть биографии профессора Лискуна на Стебутовских курсах – организация совместной научной работы со слушательницами. Под его руководством они писали свои первые научные работы, которые были тесно связаны с научным поиском самого профессора. Так, на наш взгляд, проявлялась его профессорская деятельность – как истинное наставничество.

Лискун не оставил воспоминаний о своей работе на Стебутовских курсах, но сохранились его отчёты директора и заведующего кафедрой. Приведем несколько отрывков из отчёта Лискуна по кафедре общей и частной зоотехнии за 1914–1915 учебный год [12; с. 27–28]:

1. Влияние на рост и качество шерсти у овец белкового, углеродистого, жирного, минерального и обеззоленного корма.
2. Определение продуктивности искусственных пастбищ.
3. Влияние рациона на молочную продуктивность при различном чередовании и комбинации кормовых смесей в условиях практического хозяйства.
4. Влияние упитанности животного на деятельность молочной железы.
5. Сравнение влияния на молочную продуктивность зелёной и высушенной травы при стойловом содержании.
6. Влияние некоторых солей (P, Ca, Mg) на белковый обмен».

Кроме того, слушательницы дежурили по скотоводству, а также разрабатывали специальные темы и представляли их на собрании курса.

Назовём некоторые темы:

«1. Характеристика отдельных животных фермы имения Княжий Двор по их молочной продуктивности.

2. Характеристика помещений для скота в имении.
3. Экстерьерное исследование крестьянского скота.
4. Экстерьерное исследование фермерского стада.
5. Сколько животных могло бы прокормить наше имение.
6. Стоимость 1 пуда навоза в нашем имении.
7. Кормление и содержание наших лошадей.
8. Описание стада имения по породам, полу, возрасту и состоянию животных».

Ефим Федотович Лескун был прекрасным лектором. В одном из своих выступлений, посвященном вопросам воспитания студентов, признаками хорошей лекции он назвал «ясное изложение, выразительность речи и дикции для того, чтобы слушатель – где бы он ни сидел и как бы он, может быть, ни был рассеян, – поддавался гипнотической силе, исходящей от лектора. А этого можно достичь, если лектор сам переживает то, о чем говорит». Он сам полностью этому соответствовал.

За большие заслуги в области сельского хозяйства в 1912 г. решением Ученого совета Московского сельскохозяйственного института Е.Ф. Лискун был награжден Большой золотой медалью им. И.А. Стебута.

Он возглавлял и Совет курсов – коллективный орган управления, в который входили его коллеги, в том числе старшие, уже с высоким статусом в российской сельскохозяйственной науке. Например, один из основоположников российской сельскохозяйственной метеорологии и климатологии Петр Иванович Броунов, выдающийся фитопатолог и миколог Артур Артурович Ячевский, или Николай Иванович Прохоров – ботаник, почвовед, геолог, ученик великого Глинки.

Именно в Петербурге–Петрограде Ефим Федотович пережил трудные, драматические времена нашей истории: первую российскую революцию 1905–1907 гг. Первую мировую войну, две революции 1917 года, в том числе падение монархии и установление республики; существенную смену идеологических парадигм, которое пережило наше общество в эпоху перемен. Несмотря ни на что, ученый продолжал заниматься любимым делом и не оставил свои изыскания.

После реорганизации трех сельскохозяйственных вузов советская власть стала создавать новую систему высшего образования. В единый Петроградский сельскохозяйственный институт вошло 3 факультета: земледелия (растениеводства) (декан – профессор Н.И. Прохоров; на факультете было 1834 студента), зоотехнии (животноводства) (декан – профессор Е.Ф. Лискун; 475 студентов) и факультет сельскохозяйственной экономики (декан – профессор Е.А. Энгель; только 151 студент). Профессорско-преподавательский состав ЛСХИ включал в себя кадры из трёх бывших сельскохозяйственных институтов. О первых годах работы в уже объединённом институте ректор Константин Дмитриевич Глинка в докладной записке отметил: «Наследство от этих институтов богатым не назовёшь».

От Каменноостровского института получены два более или менее оборудованных учебных здания, где оказалось возможным оборудовать химическую, почвоведческую лаборатории и ряд кабинетов. От Стебутовского института унаследовали плохо приспособленное к учебным целям здание с расстроенными коммуникациями и без хозяйственных пристроек. Петроградский агрономический институт передал полуразрушенное здание бывшего училища правоведения, ряд опытных учреждений в Детском Селе и Павловске, полную бесхозяйственность во всем имуществе, 50 миллиардов долга, расточительные штаты и пышные канцелярии в Петрограде и Детском селе. Пришлось много работать для приведения всего в элементарный порядок».

В 1922 г. уже в ЛСХИ Лискун возглавил факультет зоотехнии. В совет факультета вошли выдающийся русский агроном профессор П.В. Будрин и будущий преемник Е.Ф. Лискуна, профессор Михаил Иудович Дьяков, который продолжил в ЛСХИ развивать его научную школу [13; с. 264, 280].

Однако Ефим Федотович мало проработал в Ленинградском сельскохозяйственном институте. В 1923 г., после смерти своего учителя, профессора Московского сельскохозяйственного института Михаила Ивановича Придорогина, Лискун был избран заведующим кафедрой частной зоотехнии (крупного животноводства) Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева, а с 1936 по 1958 гг. возглавлял там кафедру крупного рогатого скота.

Так, мы видим, что в биографии Е.Ф. Лискуна выделяются фактически ДВА периода его успешной научной и профессорской (преподавательской) деятельности: петербургский–петроградский и московский.

Наш Университет сегодня гордится тем, что выдающийся учёный, наставник и организатор, работая в Петербурге–Петрограде, внес во многом определяющий вклад в становление нашего вуза.

Академик Е.Ф. Лискун основал новые научные направления в животноводстве – зоотехническую краниологию, учение об интерьере животных; он был организатором Всесоюзного научно-исследовательского института животноводства (ВИЖ) и первым его директором (1929–1936), при нем открылись сеть опытных станций, зональных и республиканских научно-исследовательских институтов по животноводству. Опубликовал более 600 работ, в том числе 26 книг и учебников.

Указом президента В. В. Путина 2023 г. объявлен в России годом учителя и наставника. Есть ученые, которые могли увлекать своими идеями целые поколения, оставляя после себя богатое наследие. Как мы увидели, Ефим Федотович был не только крупным исследователем, но и прекрасным лектором; умел выстраивать и сохранять доброжелательные отношения с окружающими. Вся научная, практическая и общественная деятельность Лискуна была направлена на улучшение отечественного животноводства. Его хорошо знали работники производства, называли «всесоюзным зоотехником». Особенно тесную связь ученый поддерживал с передовиками животноводства, которые часто приезжали к нему за советом.

За 52 года педагогической деятельности Ефим Федотович Лискун воспитал несколько тысяч зоотехников, подготовил более 100 кандидатов и докторов наук, создал научно-педагогическую школу по скотоводству.

### **Список источников литературы**

1. Боронецкая, О.И., Шилова, А.В., Барбосова, М.Е. Вклад академика Е.Ф. Лискуна в зоотехническую науку и животноводство // Доклады ТСХА. – 2009. – С. 343–346.

2. Боронеекая, О.И., Шилова, А.В., Барбосова, М.Е. К 135-летию со дня рождения академика Е.Ф. Лискуна // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 4. – С. 154–159.
3. Боронеекая, О.И., Патрикеева, Л.В., Никифоров, А.И. К 145-летию со дня рождения академика Ефима Федотовича Лискуна (1873–1958) // Доклады ТСХА. – 2009. – С. 47–50.
4. Пестрикова, К.К. Вечерние агрономические курсы (начала XX века) в Санкт-Петербурге // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – 2023. – С. 13–16.
5. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. – Ф. 450. – Оп. 1. – Д. 1–4086. Личные дела слушательниц.
6. Отчёт Общества содействия женскому сельскохозяйственному образованию в Санкт-Петербурге. – СПб., 1908. – 69 с.
7. Нарыкова, Н.М. Учёный комитет Министерства государственных имуществ // Экономическая история России с древнейших времён до 1917 г. Т. 2. – М.: РОССПЭН. 2009. – С. 1018–1019.
8. Наставления по животноводству / Сост. Е. Ф. Лискун. – СПб.: Сельский вестник, 1908. – 126 с.
9. Краткие сведения о животноводстве некоторых русских хозяйств: по данным, полученным от хозяев. – СПб.: Изд. Бюро по зоотехнии Ученого комитета Главного управления землеустройства и земледелия, 1910. – 712 с.
10. Крестьянская лошадь Северной России / Сост. Е. Ф. Лискун. – СПб.: Петербургское собрание сельских хозяев, 1913. – 32 с.
11. Хозяйственное значение скормливания домашним животным сильных кормов / Е. Лискун; ГУЗЗ. Департамент земледелия. – Петроград: 1914 (презентация). – 28 с.
12. Известия Стебутовских высших женских сельскохозяйственных курсов. Т. 1. – Вып. 1–2. – СПб., 1915.
13. Записки Ленинградского сельскохозяйственного института. Т. 1. – СПб., 1924.

### References

1. Boroneckaya, O.I., SHilova, A.V., Barbosova M.E. (2009), 'Vklad akademika E.F. Liskuna v zootekhnicheskuyu nauku i zhivotnovodstvo', *Doklady TSKHA*, pp. 343–346. (in Russ.)
2. Boroneckaya, O.I., SHilova, A.V., Barbosova, M.E. (2008), 'K 135-letiyu so dnya rozhdeniya akademika E.F. Liskuna', *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skohozyajstvennoj akademii*, no. 4, pp.154–159. (in Russ.)
3. Boroneckaya, O.I., Patrikeeva, L.V., Nikiforov, A.I. (2009), 'K 145-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Efima Fedotovicha Liskuna (1873–1958)', *Doklady TSKHA*, pp. 47–50. (in Russ.)
4. Pestrikova, K.K. (2023), 'Vechernie agronomicheskie kursy (nachalo XX veka) v Sankt-Peterburge', *Intellektual'nyj potencial molodyh uchenyh kak drajver razvitiya APK. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh i obuchayushchihsya*, pp. 13–16.
5. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga, f. 450, op. 1, d.1–4086. Lichnye dela slushatel'nic.
6. Otchyot Obshchestva sodejstviya zhenskomu sel'skohozyajstvennomu obrazovaniyu v Sankt-Peterburge (1908), Sankt-Peterburg, 69 p.

7. Narykova, N.M. (2009), 'Uchyonyj komitet Ministerstva gosudarstvennyh imushchestv, Ekonomicheskaya', *Istoriya Rossii s drevnejshih vremyon do 1917 g, vol. 2*, Moskva, pp. 1018–1019. 15
8. Nastavleniya po zhivotnovodstvu. Sost. E.F. Liskun (1908), Sankt-Peterburg, 126 p.
9. Kratkie svedeniya o zhivotnovodstve nekotoryh russkih hozyajstv: po dannym, poluchennym ot hozyaev (1910), Sankt-Peterburg, 712 p.
10. Krest'yanskaya loshad' Severnoj Rossii. Sost. E.F. Liskun (1913), Sankt-Peterburg, 32 p.
11. Hozyajstvennoe znachenie skarmlivaniya domashnim zhivotnym sil'nyh kormov (1904), Petrograd, 28 p.
12. Izvestiya Stebutovskih vysshih zhenskih sel'skohozyajstvennyh kursov, (1915), t.1, vol. 1–2.
13. Zapiski Leningradskogo sel'skohozyajstvennogo instituta (1924), t. 1, Sankt-Peterburg.

### Сведения об авторах

**Красникова Юлия Николаевна**, доктор исторических наук, доцент кафедры философии и социально-гуманитарных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0002-1883-1553; SPIN-код: 5686-1468; julia2404@mail.ru.

**Нарыкова Нина Михайловна**, доктор исторических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0003-1839-5285; SPIN-код: 9758-2276; narykova@yandex.ru.

### Information about the authors

**Yulia N. Krasnikova**, Doc. Sci. (History), Associate Professor of the Department of Philosophy, Social Sciences and Humanities, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0002-1883-1553; SPIN-код: 5686-1468; julia2404@mail.ru.

**Nina M. Narykova**, Doc. Sci. (History), Professor of the Department of Public and Municipal Administration, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0003-1839-5285; SPIN-код: 9758-2276; narykova@yandex.ru.

Научная статья

УДК 633.37

Код ВАК 4.1.1

doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-16-24

## ФОРМИРОВАНИЕ УКОСНЫХ ТРАВСТОЕВ С КОЗЛЯТНИКОМ ВОСТОЧНЫМ СОРТА ЮБИЛЯР С РАЗНЫМИ НОРМАМИ ВЫСЕВА В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Б. Никулин<sup>1</sup> ✉, А.Ю. Погодина<sup>1</sup>,  
А.Л. Кокорина<sup>1</sup>, Ф.Ф. Ганусевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Санкт-Петербург  
✉ anatolnikul@yandex.ru

**Реферат.** Козлятник восточный (*Galega orientalis Lam.*), обладая продуктивным долголетием и комплексом ценных хозяйственных и эколого-биологических особенностей, относится к числу наиболее приоритетных для условий Северо-Запада РФ кормовых культур. Однако недостаточная разработанность технологии его возделывания не способствует расширению посевных площадей этой ценной культуры. Особенно слабо изучены приемы формирования долголетних травостоев. В связи с этим научное обоснование приемов формирования высокопродуктивных посевов козлятника восточного приобретает особо актуальное значение. Целью работы является создание травостоев с участием козлятника восточного сорта Юбиляр с разными нормами высева. В задачи исследований входило изучить побегообразовательную способность бобового вида, провести анализ ботанического состава травостоев, определить урожайность травостоев. Исследование укосных травостоев на основе козлятника восточного проводилось в 2017–2022 гг. Козлятник восточный сорта Юбиляр был посеян в смеси с тимофеевкой луговой (*Phleum pratense L.*) сорта Ленинградская 204 с разными нормами высева: 13 кг/га (50%), 19,5 (75%) и 26 кг/га (100%). Учёты и наблюдения проводились согласно общепринятым методикам. Результаты исследований показали, что снижение нормы высева козлятника восточного на 50% и 25% начиная с пятого года жизни изучаемых травостоев не влияло ни на побегообразование изучаемого вида. Уменьшение долевого участия козлятника восточного в этих вариантах, – на пятый и шестой год жизни не уступали показателям варианта со 100% нормой высева козлятника восточного. Уменьшение нормы высева не влияло и на уровень урожайности изучаемых травостоев, – такие травостои даже превосходили по данному показателю вариант с 100% нормой высева козлятника восточного.

**Ключевые слова:** луговое кормопроизводство, козлятник восточный, побегообразование, ботанический состав, урожайность, норма высева

**Цитирование.** Никулин А.Б., Погодина А.Ю., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф. Формирование укосных травостоев с козлятником восточным сорта Юбиляр с разными нормами высева в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 16–24, doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-16-24.

**FORMATION OF MOWING GRASS STANDS WITH EASTERN GOAT'S RUE VARIETY  
 JUBILYAR WITH DIFFERENT SEEDING RATES IN THE CONDITIONS  
 OF THE LENINGRAD REGION**

**A.B. Nikulin<sup>1</sup>✉, A.Yu. Pogodina<sup>1</sup>, A.L. Kokorina<sup>1</sup>, F.F. Ganusevich<sup>1</sup>**

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

✉ anatolnikul@yandex.ru

**Abstract.** The eastern goat's rue (*Galega orientalis Lam.*), having productive longevity and a complex of valuable economic and ecological-biological features, is among the most priority for the conditions of the North-West of the Russia. However, the insufficient development of the technology of cultivation of the eastern goat's rue does not contribute to the expansion of the acreage of this valuable crop. Especially poorly studied methods of formation of long-term herbage. In this regard, the scientific justification of the methods of forming highly productive crops of the eastern goat's rue is of particular relevance. The purpose of the work is to create grass stands with the participation of the eastern goat's rue variety Jubilee with different seeding rates. The objectives of the research included: studying the shoot-forming ability of a legume species, analyzing the botanical composition of herbage, determining the yield of herbage. The study of mowing grass stands based on the eastern goat's rue was carried out in 2017-2022. The eastern goat's rue of the Jubilee variety was sown in a mixture with timothy (*Phleum pratense L.*) of the variety Leningradskaya 204. The eastern goat's rue was sown with different seeding rates: 13 kg/ha (50%), 19,5 (75%) and 26 kg/ha (100%). Records and observations were carried out according to generally accepted methods. The research results showed that a decrease in the seeding rate of the goat's rue by 50% and 25%, starting from the fifth year of life of the studied herbage, did not affect the shoot formation of the studied legume species, also this technique did not affect the reduction of the share of the goat's rue in these variants, for the fifth and sixth year of life they were not inferior to the indicators of the variant with 100% of the seeding rate of the goat's rue and also did not affect the yield level of the studied herbage, such herbage even surpassed in this indicator the variant with 100% seeding rate of the goat's rue.

**Keywords:** meadow forage production, eastern goat's rue, shoot formation, botanical composition, yield capacity, seeding rate

**Citation.** Nikulin, A.B., Pogodina, A.Yu., Kokorina, A.L., Ganusevich F.F. (2023), "Formation of mowing grass stands with eastern goat's rue variety Jubilyar with different seeding rates in the conditions of the Leningrad Region", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 16–24. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-16-24.

**Введение.** Главной отраслью сельского хозяйства на Северо-Западе Российской Федерации является молочное скотоводство. Для развития этой отрасли необходимо создание кормовой базы. Поэтому в настоящее время перед кормопроизводством стоят такие задачи, как повышения урожайности кормовых культур и рациональное их использование на пашне и лугах [1, 2].

Сейчас много внимания уделяется вопросам энергосбережения, экологии и экономической безопасности в кормопроизводстве. Также проводится много исследований по созданию агрофитоценозов и увеличению их продуктивности [3, 4].

Современные направления в кормопроизводстве ориентированы на использование бобовых и бобово-злаковых травостоев, которые обеспечивают получение высокопитательных кормов. В связи с этим внедрение новых видов бобовых трав в структуру посевных площадей укрепит кормовую базу для животноводства [5, 6].

Все больше внимания уделяется возделыванию козлятника восточного. Эта бобовая культура характеризуется долголетием, высокой питательностью, хорошей поедаемостью, ранней скороспелостью, что ставит ее на ступень выше других культур. Положительная особенность козлятника восточного – высокая облиственность, листья не теряются даже при сушке сена [7–11].

Козлятник восточный рекомендуют возделывать в одновидовых и смешанных посевах со злаковыми травами. Его одновидовые посевы подвержены зарастанию инвазионной растительностью в первые годы жизни. Смешанные посевы с козлятником восточным позволяют избежать этого и получать хозяйственные урожаи с первых лет пользования. Зеленую массу козлятника восточного можно использовать для заготовки сена, сенажа и травяной муки. Корма, полученные из этой культуры, содержат большое количество не только протеина, но и углеводов, и зольных элементов. В связи с этим возделывание козлятника восточного для создания крепкой кормовой базы является актуальным в настоящее время [12–14].

**Цель исследования** – обоснование создания травостоев с козлятником восточным сорта Юбиляр с разными нормами высева. Для решения поставленной цели рассматривались следующие задачи: изучить побегообразовательную способность бобового вида, провести анализ ботанического состава травостоев, определить их урожайность.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Полевой опыт по созданию травостоев с участием козлятника восточного был заложен в 2017 г. Козлятник восточный (*Galega orientalis Lam.*) сорта Юбиляр, выведенный в ГНУ Псковский НИИСХ, был высеян в смеси с тимофеевкой луговой (*Phleum pratense L.*) сорта Ленинградская 204, выведенного в ГНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка». Для козлятника восточного как долголетнего вида в первые годы жизни характерно медленное развитие. Поэтому одновидовые посевы этого вида в первые годы подвержены внедрению инвазионных видов и не обеспечивают получения полноценных урожаев. Из-за этого обстоятельства многие сельскохозяйственные предприятия отказываются от использования козлятника восточного в кормопроизводстве. Для того чтобы не происходило внедрения инвазионных видов в посевы, рекомендуется включать в состав травосмесей тимофеевку луговую, которая вытесняет эти виды из травостоев. В наших исследованиях козлятник восточный сажали с разными нормами высева: 13 кг/га (50%), 19,5 (75%) и 26 кг/га (100%). Предполагалось, что снижение нормы высева с годами не будет влиять на формирование травостоев и урожайность. Сложность семеноводства многолетних культур делает затруднительным их использование и возделывание в хозяйствах. Козлятник восточный не имеет большого распространения в сельскохозяйственном производстве, количество семян на рынке ограничено, поэтому изучение технологии возделывания козлятника восточного с пониженными нормами высева очень актуально.

Семена были высеяны беспокровным способом. Площадь опытной делянки 10 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная. В годы проведения исследований проводили по два укоса. Все учёты и наблюдения проводились согласно общепринятым в кормопроизводстве методикам, рекомендованным ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса.

Исследования проводили на дерново-карбонатной почве. Пахотный горизонт почвы имеет близкую к нейтральной реакцию среды, содержание подвижного фосфора очень высокое, обменного калия – повышенное (по Кирсанову). Данные показатели почвы благоприятны для выращивания козлятника восточного.

**Результаты исследований.** Полевая всхожесть семян имеет ключевое значение в формировании травостоев. Согласно полученным экспериментальным данным, на 1 м<sup>2</sup> насчитывалось 64–105 растений козлятника восточного, что составляло 22,1–27,9% от высеянных семян. В то же время лабораторная всхожесть семян составляла 71,5%. Это обстоятельство прежде всего связано с твердокаменностью семян козлятника восточного и наступившим засушливым периодом после посева в 2017 г.

Побегообразовательная способность козлятника восточного в первые годы жизни была низкой во всех изучаемых вариантах (табл. 1). В последующие годы проведения исследований побегообразование исследуемого вида возросло. Начиная с пятого года жизни изучаемых травостоев снижение нормы высева козлятника восточного не влияло на побегообразовательную способность бобового вида. Так, на пятый год жизни козлятник восточный в варианте с нормой высева 50% сформировал 155 шт./м<sup>2</sup> побегов, что было выше, чем в варианте с нормой высева 100%, где он сформировал 140 шт./м<sup>2</sup> побегов.

Таблица 1. Количество побегов козлятника восточного, шт./м<sup>2</sup>  
 Table 1. Number of eastern goat's rue shoots, pcs./m<sup>2</sup>

№	Варианты	2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
		1-й укос	2-й укос								
1	Норма высева 50%	60	60	29	96	118	126	155	143	194	132
2	Норма высева 75%	24	72	48	79	74	116	131	110	138	168
3	Норма высева 100%	72	128	101	140	136	141	140	170	122	148

Ботанический состав травостоев косвенно влияет на качество получаемых кормов. На второй год жизни участие бобового вида во всех изучаемых травостоях было низким и составляло 7,2–16,3% в первом укосе, но во втором укосе оно увеличилось до 34–54,8% (табл. 2).

Включение в травосмеси тимофеевки луговой позволило снизить участие инвазионных видов в травостоях. Так, в первые 3 года пользования травостоями доленое участие несеянных видов составляло всего 2,9–1,2% в первом укосе и 3,0–23,1% – во втором укосе. Это объясняет эффективность возделывания козлятника восточного с тимофеевкой луговой в первые годы пользования травостоями. На пятый год жизни тимофеевка луговая выпала из травостоев, и ее место занял козлятник восточный.

Доленое участие козлятника восточного начиная с четвертого года жизни увеличилось и составляло 66,3% в варианте с нормой высева 50%; 74,6% в варианте с нормой высева 75%; 86% в варианте с нормой высева 100%. Таким образом, снижение нормы высева козлятника восточного на 50% и 25% на четвертый год жизни травостоев повлияло на участие этого бобового вида в травостоях. Начиная с пятого года жизни травостоев доленое участие бобового вида увеличилось. Анализ ботанического состава травостоев показал, что на пятый и шестой года жизни изучаемый прием снижения нормы высева не влиял на уменьшение участия козлятника восточного в этих вариантах, и они не уступали показателям варианта со 100% нормой высева изучаемой культуры.

**Таблица 2. Ботанический состав изучаемых травостоев**  
**Table 2. Botanical composition of the studied herb stands**

№	Варианты	% по сухой массе					
		Сеяный бобовый вид	1-й укос Сеяный злаковый вид	Несеянные виды	Сеяный бобовый вид	2-й укос Сеяный злаковый вид	Несеянные виды
2018 г.							
1	Норма высева 50%	14,4	76,7	8,9	34,0	48,0	18,0
2	Норма высева 75%	7,2	85,6	7,2	34,9	42,0	23,1
3	Норма высева 100%	16,3	72,5	11,2	54,8	24,4	20,8
2019 г.							
1	Норма высева 50%	9,7	87,4	2,9	78,8	16,3	4,9
2	Норма высева 75%	52,0	37,2	10,8	69,9	25,4	4,7
3	Норма высева 100%	81,0	17,8	1,2	81,8	11,8	6,4
2020 г.							
1	Норма высева 50%	66,3	26,8	6,9	92,3	4,2	3,5
2	Норма высева 75%	74,6	20,0	5,4	79,2	13,6	7,2
3	Норма высева 100%	86,0	9,7	4,3	81,1	15,9	3,0
2021 г.							
1	Норма высева 50%	89,9	–	10,1	67,9	–	32,1
2	Норма высева 75%	91,8	–	8,2	63,5	–	36,5
3	Норма высева 100%	95,6	–	4,4	71,8	–	28,2
2022 г.							
1	Норма высева 50%	76,6	–	23,4	98,3	–	1,7
2	Норма высева 75%	92,4	–	7,6	93,4	–	6,6
3	Норма высева 100%	82,5	–	17,5	98,2	–	1,8

В годы проведения исследований значения сбора сухой массы в изучаемых травостоях находились на разных уровнях (рис. 1).

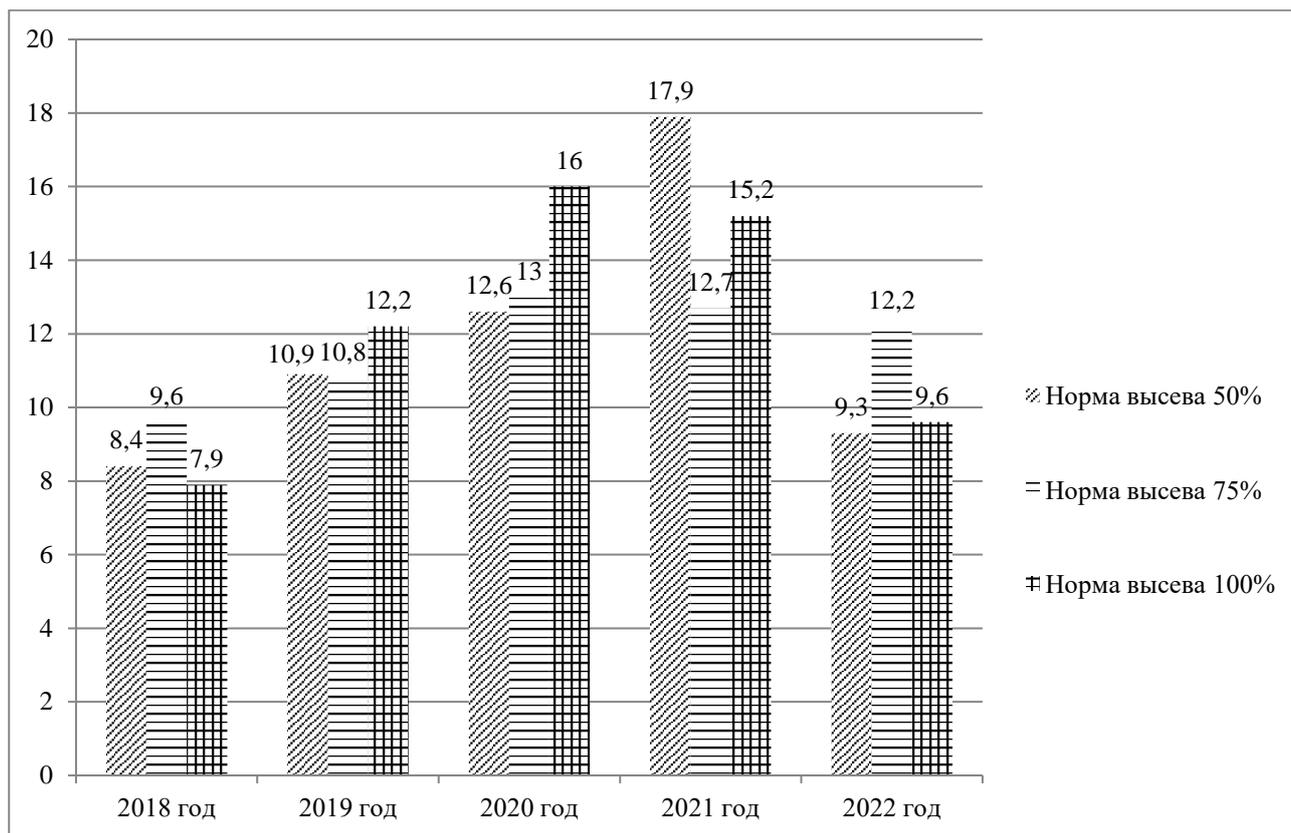


Рисунок 1. Сбор сухой массы в изучаемых травостоях, т/га в сумме за два укоса  
 Figure 1. Dry mass collection in the studied grass stands, t/ha in total for two cuttings

На второй год жизни травостоев более урожайным был вариант с нормой высева 75%; тогда было получено 9,6 т/га ( $НСР_{0,05} = 0,4$  т/га). На третий и четвертый годы жизни травостоев наиболее урожайным оказался вариант с нормой высева 100%, в котором было получено 12,2 т/га ( $НСР_{0,05} = 0,7$  т/га) и 16 т/га ( $НСР_{0,05} = 1,2$  т/га) соответственно. На пятый год жизни более продуктивным оказался вариант с нормой высева 50%, урожай которого составил 17,9 т/га ( $НСР_{0,05} = 1,1$  т/га). На шестой год жизни наиболее урожайным оказался вариант с нормой высева 75%, в котором было получено 12,2 т/га ( $НСР_{0,05} = 0,9$  т/га).

Анализ урожайности показал, что изучаемый прием снижения нормы высева козлятника восточного с годами не влиял на уровень урожайности изучаемых травостоев, такие травостои даже превосходили по данному показателю вариант с 100% нормой высева козлятника восточного.

**Выводы.** Снижение нормы высева козлятника восточного сорта Юбилар с пятого года жизни не влияло на его побегообразовательную способность, доленое участие и урожайность травостоев. Сельскохозяйственным предприятиям можно рекомендовать данный прием для снижения материальных затрат на семенной материал при создании травостоев с козлятником восточным.

#### Список источников литературы

1. Донских, Н.А. Кормопроизводство – актуальные проблемы и перспективы его развития на современном этапе // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – С. 54–57.

2. Косолапов, В.М. Исторические аспекты становления и развития лугового кормопроизводства в России и его перспективы в XXI веке / В. М. Косолапов, А. А. Кутузова // Кормопроизводство. – 2022. – № 2. – С. 3–8.
3. 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.
4. Косолапов, В.М. Современное состояние и вызовы для отрасли кормопроизводства в России / В. М. Косолапов, В. И. Чернявских, С. И. Костенко // Кормопроизводство. – 2022. – № 10. – С. 3–8.
5. Никулин, А.Б. Формирование укосных травостоев с козлятником восточным сорта Кривич в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (63). – С. 9–17.
6. Донских, Н.А. Формирование травостоев с козлятником восточным отечественных сортов в первый год жизни в условиях Ленинградской области / Н. А. Донских, В. А. Веселков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С. 9–18.
7. Ковалев, Н.Г. Козлятник восточный – выгодная кормовая культура в условиях осушаемых земель Нечерноземья / Н.Г. Ковалев, А. Д. Капсамун, Н. Н. Иванова, Е. Н. Павлючик // Мир инноваций. – 2017. – № 2. – С. 41–48.
8. Вагунин, Д.А. Формирование высокопродуктивных бобово-злаковых агроценозов долгодлительного пользования на основе козлятника восточного / Д. А. Вагунин, Н. Н. Иванова // Кормопроизводство. – 2023. – № 4. – С. 8–14.
9. Meripold, H. Yields and feed value of different fodder galega-grass mixtures / H. Meripold, U. Tamm, S. Tamm, T. Vosa et al. // Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation Trondheim, Norway, 4 – 8 September, 2016. – pp. 464–466.
10. Povilaitis, V. The productivity and energy potential of alfalfa, fodder galega and maize plants under the conditions of the nemoral zone / V. Povilaitis, A. Slepeliene, J. Slepeliene, S. Lazauskas et al. // Acta Agr. Scand. – 2016. – Vol. 66. – № 3. – pp. 259–266.
11. Dubis, B. Biomass yield and energy balance of fodder galega in different production technologies: An 11-year field experiment in a large-area farm in Poland / B. Dubis, K.J. Jankowski, M.M. Sokolski, D. Załuski et al. // Renewable Energy, Elsevier. – 2020. – Vol. 154 (C). – Pp. 813–825.
12. Лазарев, Н.Н. Изменение урожайности и агрохимических показателей почвы при долгодлительном возделывании козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) / Н. Н. Лазарев, О. В. Кухаренкова, Е. М. Куренкова, А. Ю. Бойцова // Кормопроизводство. – 2021. – № 8. – С. 26–31.
13. Symanowicz, B. Eastern galega (*Galega orientalis* lam.) as potential energy plant / Symanowicz, B., Kalembasa, S. // Przemysl Chemiczny. – 2019. – Vol. 98. – № 1. – Pp. 48–51.
14. Symanowicz, B. Possibilities of using fodder galega in the energy sector and agriculture / Symanowicz, B., Becher, M., Kalembasa, S., Jezowski, S. // Applied Ecology and Environmental Research. – 2019. – Vol. 17. – № 2. – Pp. 2677–2687.

### References

1. Donskikh, N.A. (2015), 'Kormoproizvodstvo – actual problems and prospects of its development at the present stage', *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, vol. 39, pp. 54–57. (In Russ.).
2. Kosolapov, V.M., Kutuzova, A.A. (2022), 'Historical aspects of the formation and development of meadow fodder production in Russia and its prospects in the XXI century', *Kormoproizvodstvo*, vol. 2, pp. 3–8. (In Russ.).

3. Kutuzova, A.A., Shpakov, A.S., Kosolapov, V.M., Teberdiev, D.M., Volovik V.T. (2021), 'The state and prospects of development of feed production in the Non-Chernozem zone of the Russia', *Kormoproizvodstvo*, vol. 2, pp. 3–9. (In Russ.).
4. Kosolapov, V.M., Chernyavskikh, V.I., Kostenko, S.I. (2022), 'Current state and challenges for the feed industry in Russia', *Kormoproizvodstvo*, vol. 10, pp. 3–8. (In Russ.)
5. Nikulin, A.B. (2021), 'Formation of mown grass stands with eastern goat's rue of the Krivich variety in the conditions of the Leningrad Region', *Izvestiya of Saint-Peterburg State Agrarian University*, vol. 63, no. 2, pp. 9–17. (In Russ.).
6. Donskikh, N.A., Veselkov, V.A. (2023), 'Formation of grass stands with eastern goat's rue of domestic varieties in the first year of life in the conditions of the Leningrad Region', *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, vol. 70, no. 1, pp. 9–18. (In Russ.).
7. Kovalev, N.G., Kapsamun, A.D., Ivanova, N.N., Pavlyuchik, E.N. (2017), 'The eastern goat's rue is a profitable forage crop in the conditions of drained lands of the Non Chernozem region', *Mir innovacij*, vol. 2, pp. 41–48. (In Russ.).
8. Vagunin, D.A., Ivanova, N.N. (2023), «Formation of highly productive legume-cereal agrocenoses of long-term use on the basis of the Eastern goat's rue», *Kormoproizvodstvo*, vol. 4, pp. 8–14. (In Russ.).
9. Meripold, H., Tamm, U., Tamm, S., Vosa, T., et al. (2016), 'Yields and feed value of different fodder galega-grass mixtures', *Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation Trondheim, Norway, 4 – 8 September*, pp. 464–466.
10. Povilaitis, V., Slepeliene, A., Slepetyus, J., Lazauskas, S., et al. (2016), 'The productivity and energy potential of alfalfa, fodder galega and maize plants under the conditions of the nemoral zone', *Acta Agr. Scand.*, vol. 66, no. 3, pp. 259–266.
11. Dubis, B., Jankowski, K.J., Sokolski, M.M., Zaluski, D., Borawski, P., Szemplinski, W. (2020), 'Biomass yield and energy balance of fodder galega in different production technologies: An 11-year field experiment in a large-area farm in Poland', *Renewable Energy*, vol. 154 (C), pp. 813–825.
12. Lazarev, N.N., Kukharenkova, O.V., E.M. Kurenkova, E.M., Boytsova, A.Yu. (2021), 'Changes in yield and agrochemical parameters of the soil during long-term cultivation of the eastern goat's rue (*Galega orientalis Lam.*)', *Kormoproizvodstvo*, vol. 8, pp. 26–31. (In Russ.)
13. Symanowicz, B., Kalembasa, S. (2019), «Eastern galega (*Galega orientalis lam.*) as potential energy plant», *Przemysl Chemiczny*, vol. 98, no. 1, pp. 48–51.
14. Symanowicz, B., Becher, M., Kalembasa, S., Jezowski, S. (2019), 'Possibilities of using fodder galega in the energy sector and agriculture', *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 2, pp. 2677–2687.

#### Сведения об авторах

**Никulin Анатолий Борисович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры земледелия и луговодства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-2987-8314>, SPIN-код: 1458-1949; [anatolnikul@yandex.ru](mailto:anatolnikul@yandex.ru).

**Погодина Алёна Юрьевна**, старший преподаватель кафедры земледелия и луговодства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0009-0009-3950-8323>, SPIN-код: 2826-6722; [dekanat1421@yandex.ru](mailto:dekanat1421@yandex.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», Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4374-2613>, SPIN-код: 6457-1524; red9027@yandex.ru.

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

#### Information about the authors

**Anatoliy B. Nikulin**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agriculture and Grassland Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Saint Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-2987-8314>, SPIN-code: 1458-1949; anatolnikul@yandex.ru.

**Alena Yu. Pogodina**, Senior Lecturer of the Department of Agriculture and Grassland Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Saint Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0009-0009-3950-8323>, SPIN-code: 2826-6722; dekanat1421@yandex.ru.

**Antonina L. Kokorina**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Professor of the Department of Plant Growing named after I.A. Stebut, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Saint Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-4374-2613>, SPIN-code: 6457-1524; red9027@yandex.ru.

**Fedor F. Ganusevich**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Head of the Department of Plant Growing named after I.A. Stebut, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Saint Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1877-4453>, SPIN-code: 4049-0260; 210ff@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 13.10.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted 13.10.2023; approved after reviewing 24.11.2023; accepted after publication 01.12.2023*

Научная статья

УДК 633.491

Код ВАК 4.1.1

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-25-36

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ СТОЛОВЫХ И ПРИГОДНЫХ К ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

И.Н. Гаспарян<sup>1</sup>✉, М.А. Петрова<sup>1</sup>,  
Ш.В. Гаспарян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии, Москва, Россия

✉ irina150170@yandex.ru

<sup>2</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

**Реферат.** Важнейшим фактором увеличения продуктивности картофеля является сорт. От сорта зависят не только хозяйственно-потребительские свойства продукта, но и направление использования и сбыта выращенного урожая. Спросом пользуются раннеспелые столовые сорта, отличающиеся высокой товарностью, вкусовыми и пищевыми качествами. В последние годы также востребованы сорта картофеля для переработки. Они должны отвечать требованиям перерабатывающей промышленности. К сожалению, наблюдается недостаток качественного сырья – специальные сорта российской селекции отсутствуют, а имеющиеся сорта иностранной селекции недостаточно адаптированы к местным условиям. Большой интерес представляют сорта с высоким содержанием пигментов в мякоти клубней, они являются ценным продуктом для диетического питания. Подобные формы интересуют производителей картофелепродуктов, однако большинство из них позднеспелые. Цель исследования – выявить новые сорта и сортообразцы картофеля столового назначения, пригодные к промышленной переработке для приготовления хрустящего картофеля, в том числе с высоким содержанием антоцианов. Исследования выполнены в КФХ «Егорша» в 2021-2022 гг. Объектами исследования были сортообразцы К719, К720, К77, К629, К67, К225, К450, К534, К229, К65, К828, К824. В качестве стандартов использовали сорта, наиболее популярные в производстве: Ривьера, Метеор, Ред Скарлет, Леди Клер, Невский, Гала, Брянский деликатес, Варяг, Евпатий, Утро, Кумач. Технология возделывания базовая. Выявлены наиболее перспективные: из ранних и очень ранних столовых сортообразцов – К720, из среднеранних – К626; из среднеспелых и поздних – К450 и К225 (с фиолетовой окраской мякоти); а также пригодные к промышленной переработке (на хрустящий картофель) сортообразцы картофеля К229 (Марсианка) и К828 (Суворовский).

**Ключевые слова:** картофель, сорт, устойчивость, пригодные к переработке

**Цитирование.** Гаспарян И.Н., Петрова М.А., Гаспарян Ш.В. Комплексная оценка новых столовых и пригодных к промышленной переработке сортов картофеля // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 25–36, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-25-36.

INTEGRATED ASSESSMENT OF NEW TABLE VARIETIES AND SUITABLE  
FOR INDUSTRIAL PROCESSINGI.N. Gasparyan<sup>1</sup> ✉, M.A. Petrova<sup>1</sup>, S.V. Gasparyan<sup>2</sup><sup>1</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,  
Moscow, Russia

✉ irina150170@yandex.ru

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russia

**Abstract.** The most important factor in increasing potato productivity is the variety. Not only the economic and consumer properties of the product, but also the direction of use and marketing of the grown crop depend on the variety. Early ripening table varieties, characterized by high marketability, taste and nutritional qualities, are in demand. In recent years, potato varieties for processing have also been in demand. They must meet the requirements of the processing industry. Unfortunately, there is a shortage of high-quality raw materials – there are no special varieties of Russian selection, and the available varieties of foreign selection are not sufficiently adapted to local conditions. Varieties with a high content of pigments in the tuber pulp are of great interest; they are a valuable product for dietary nutrition. Such forms are of interest to potato product manufacturers, but most of them are late-ripening. The purpose of the study is to identify new varieties and varieties of table potatoes suitable for industrial processing for the preparation of crispy potatoes, including those with a high content of anthocyanins. The research was carried out at the peasant farm "Egorsha" in 2021-2022. The objects of the study were varieties K719, K720, K77, K629, K67, K225, K450, K534, K229, K65, K828, K824. The varieties most popular in production were used as standards: Riviera, Meteor, Red Scarlet, Lady Claire, Nevsky, Gala, Bryansk Delicacy, Varyag, Evpatiy, Morning, Kumach. Cultivation technology is basic. The most promising ones were identified: from the early and very early table varieties – K720, from the mid-early ones – K626; from mid-season and late – K450 and K225 (with purple colored flesh); as well as potato varieties K229 (Martianka) and K828 (Suvorovsky) suitable for industrial processing (for crispy potatoes).

**Keywords:** potatoes, variety, resistance, suitable for processing

**Citation.** Gasparyan, I.N., Petrova, M.A. and Gasparyan, Sh.V. (2023), 'Integrated assessment of new table varieties and suitable for industrial processing', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5 pp. 25–36., (In Russ.), doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-25-36.

**Введение.** Картофель является полноценным и доступным продуктом питания для населения. Важнейшим фактором увеличения продуктивности в картофелеводстве является сорт. От сорта зависят не только важнейшие хозяйственно-потребительские свойства продукта, но и направление использования и сбыта выращенного урожая. В Северо-Западной зоне желательно выращивать раннеспелые сорта, наиболее адаптированные к местным условиям. Раннеспелые сорта отличаются высокой товарностью, отличными вкусовыми и пищевыми качествами; они не темнеют при варке [1]. Такие сорта картофеля сейчас наиболее востребованы на рынке: они особенно пригодны к длительному хранению, сочетают устойчивость к механическим повреждениям и вирусным заболеваниям, имеют привлекательный внешний вид клубней, пригодны к реализации в мытом и очищенном виде и для переработки.

В последние годы возрастают объемы картофеля для изготовления разных видов картофелепродуктов, как следствие, резко возрастает потребность в специальных сортах.

Селекция в направлении получения сортов, пригодных для промышленной переработки, связана с определенными трудностями, т. к. необходимо комбинировать в одном генотипе большое количество желаемых признаков [2-3]. Многие ученые считают, что сорта должны отвечать требованиям перерабатывающей промышленности: иметь низкое содержание редуцирующих сахаров, равномерное их распределение по объему клубня и быстрое снижение в процессе рекондиционирования [4]. К сожалению, наблюдается недостаток качественного сырья: специальные сорта российской селекции отсутствуют, а имеющиеся сорта иностранной селекции недостаточно адаптированы к местным условиям.

Большой интерес представляют сорта с высоким содержанием пигментов в мякоти клубней, они являются ценным продуктом для диетического питания. Подобные формы интересуют производителей картофелепродуктов, однако большинство из них позднеспелые.

**Цель исследования** – проведение комплексной оценки популярных сортообразцов картофеля для выявления наиболее стабильных столовых и пригодных для изготовления хрустящего картофеля сортов, в том числе с высоким содержанием антоцианов.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследования проводились в Тульской области Суворовского района в дер. Красное Михайлово, в селекционном питомнике конкурсного сортоиспытания КФХ «Егорша» в 2021–2022 гг. Почвы дерново-подзолистые среднесуглинистые, обеспеченные подвижным фосфором ( $P_2O_5$ ) – 118...160 мг/кг, калием ( $K_2O$ ) – 80...104 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91), содержание гумуса – 2,1-2,2% (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), рН KCl – 5,2 ед. (потенциометрическим методом, ГОСТ 26483-85).

В качестве объектов исследования были выбраны следующие сортообразцы: K719, K720, K77, K626, K67, K225, K450, K534, K23, K229, K65, K828, K824, K611, K518, K508, K526. В качестве стандартов использовали сорта российской и зарубежной селекции разных групп спелости, наиболее популярные в производстве и наиболее устойчивые к воздействию неблагоприятных факторов: Ривьера, Метеор, Ред Скарлет, Леди Клер, Невский, Гала, Брянский деликатес, Варяг, Евпатий, Утро, Кумач.

Исследования проводились по методике исследований по культуре картофеля, согласно методическим указаниям по технологии селекционного процесса картофеля и частной селекции полевых культур [3, 5-7].

Технология выращивания в питомнике – стандартная: посадка в заранее нарезанные гребни с междурядьями 75 см с гребнеобразованием после появления первых всходов. При нарезке гребней был внесен в почву инсектофунгицидный препарат Эместо Квантум в дозе 1 л/га. Предшественник – яровая пшеница. Осенью на данном участке была проведена зяблевая вспашка на глубину 20 см. Весной на участок было внесено комплексное удобрение – азофоска в дозе 500 кг/га. Обработку почвы перед посадкой провели с помощью вертикального фрезерного культиватора на глубину 10 см. После культивации была проведена нарезка гребней картофелесажалкой GL34-T. Гребнеобразование проведено совместно с обработкой гребней гербицидом Зенкор Ультра в дозе 0,9 л/га. В течение вегетационного периода было проведено 5 инсектофунгицидных обработок. Перед уборкой была проведена десикация препаратом Реглон Супер – 1,5 л/га.

Температура и количество осадков в исследуемые годы представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Средняя месячная температура (° C) и количество осадков (мм) за вегетационный период 2021-2022 гг. в деревне Красное Михайлово Тульской области Суворовского района**  
**Table 1. Average monthly temperature (° C) and precipitation (mm) for the growing season 2021-2022 in the village of Krasnoe Mikhailovo, Tula Region, Suvorovsky district**

	Средняя месячная температура, ° C				Количество осадков, мм			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
2021	13,1	18,9	20,9	19,2	121	67	37	41
2022	10,6	18,0	18,7	20,3	60	75	59	22

В питомнике размножения были проведены 3 фитопрочистки с интервалом в 7–10 дней. Удаляли пораженные вирусами и ризоктониозом, а также нетипичные растения. По окончании фазы цветения были проведены пробные копки для определения даты удаления ботвы; выводы делали по накоплению семенной фракции (диаметр клубней 30–60 мм) 90% от общего количества клубней.

Оценка пригодности образцов для переработки проводилась через 2 месяца после уборки. Образцы для пробной жарки хранили при температуре +10 °C. Перед жаркой проводили рекондиционирование клубней при температуре +18 °C в течение 4 недель.

Процесс приготовления чипсов включал следующие операции: мойка клубня; резка клубня на ломтики толщиной 1,3 мм; отмывка крахмала с ломтиков тёплой водой; обсушивание ломтиков на хлопчатобумажной ткани, обжаривание ломтиков во фритюрнице на рафинированном масле при температуре +175 °C в течение 2,5 мин., извлечение ломтиков из фритюрницы и удаление излишков масла.

В представленных ниже табл. 2 и 3 образцы сгруппированы по скороспелости и сравниваются со стандартами в каждой группе.

По результатам статистической обработки данных [8] каждому образцу был присвоен индекс в зависимости от значимости отличий урожайности от показателей стандарта соответствующей группы спелости: 0 – отличия не существенны; 1 – отличия существенны, урожайность образца выше стандарта более 1 НСР<sub>0,5</sub> (наименьшая существенная разность при вероятности ошибки 5 %); 2 – отличия существенны, урожайность образца выше стандарта более 2 НСР<sub>0,5</sub>; -1 – отличия существенны, урожайность образца ниже стандарта более 1 НСР<sub>0,5</sub>; -2 – отличия существенны, урожайность образца ниже стандарта более 1 НСР<sub>0,5</sub>.

**Результаты исследования.** В последние годы в России прослеживается тенденция увеличения площадей выращивания сортов по двум направлениям: ранних и среднеранних столовых сортов, характеризующихся высокой товарностью, привлекательным внешним видом клубней и технологической пригодностью к переработке (Гала, Коломба, Королева Анна, Винета) в сочетании с высокими вкусовыми качествами; а также сортов, пригодных для переработки на хрустящий картофель и фри (Леди Клэр, ВР808, Инноватор). Многие из них – иностранной селекции. Необходимо развивать селекцию отечественных сортов, выявлять наиболее перспективные и предлагать производителям сорта, проверенные в условиях производства.

Таблица 2. Результаты комплексной оценки селекционных образцов столового направления  
Table 2. Results of integrated assessment of table direction selection samples

Образец	Окраска кожуры	Окраска мякоти	Группа спелости	Оценка урожайности				Средняя урожайность за 2 года, т/га	Устойчивость к израстанию, балл	Дегустационная оценка, средний балл	Кулинарный тип	Сухое вещество, %
				2021 год		2022 год						
				Урожайность, т/га	Значимость отличий от стандарта НСР <sub>0,5</sub> =5,0	Урожайность, т/га	Значимость отличий от стандарта НСР <sub>0,5</sub> =9,1					
<b>Ранние и очень ранние сорта</b>												
Ривьера	1	2	очень ранний	22,42	st	40,79	st	31,61	7	3,2	A	18,5
Ред Скарлетт	3	3	ранний	18,62	st	53,30	0	35,96	8	3,6	A	20,9
K719	3	4	очень ранний	24,20	0	40,18	0	32,19	6	3,6	B	19,2
K720	2	4	среднеранний	24,32	0	44,28	0	34,30	7	3,9	A	20,1
K77	3	4	ранний	20,14	0	44,18	0	32,16	6	4,3	B	21,5
<b>Среднеранние сорта</b>												
Гала	2	5	среднеранний	20,52	0	28,80	-1	24,66	9	4,0	A	21,3
Брянский деликатес	2	3	среднеранний	20,90	st	34,68	0	27,79	7	4,0	BC	24,8
Невский	1	1	среднеранний	19,76	0	34,76	0	27,27	7	3,8	B	23,2
K629	3	4	среднеранний	20,95	0	40,28	0	30,62	8	4,0	A	22,6
K67	2	4	раннеспелый	23,94	0	36,76	0	30,35	6	4,0	C	21,3

Среднеспелые и поздние сорта												
Утро	2	3	среднеспелый	28,50	0	41,29	-1	34,89	7	4,0	BC	23,2
Варяг	1	1	среднеспелый	25,08	st	50,69	st	37,88	8	3,6	A	20,1
Кумач	4	1	среднепоздний	19,76	st	45,57	st	32,66	6	3,8	BC	19,2
K225	5	ф8	позднеспелый	15,58	-1	24,27	-2	19,93	8	3,9	B	23,5
K450	5	4	среднеспелый	15,58	-1	37,27	-1	26,43	7	4,5	B	20,1
K534	5	ф5	среднеспелый	26,22	0	51,48	0	38,85	3	2,8	B	22,2

Таблица 3. Результаты комплексной оценки селекционных образцов, пригодных для производства хрустящего картофеля  
Table 3. Results of integrated assessment of breeding samples suitable for the production of crispy potatoes

Образец	Окраска кожуры	Окраска мякоти	Группа спелости	Оценка урожайности				Средняя урожайность за 2 года, т/га	Устойчивость к израстанию, балл.	Дегустационная оценка, средний балл	Кулинарный тип	Сухое вещество, %	Устойчивость к потемнению после жарки, средний балл	Дегустационная оценка чипсов, средний балл
				2021 год		2022 год								
				Урожайность, т/га	Значимость отличий от стандарта НСР <sub>0,5</sub> =5,0	Урожайность, т/га	Значимость отличий от стандарта НСР <sub>0,5</sub> =9,1							
Леди Клер	2	3	ранний	21,28	st	23,76	st	22,52	8	3,8	D	24,6	9	4,5
Евпатий	3	3	среднеспелый	20,52	st	34,23	st	27,37	8	3,2	A	23,8	8	4,4
K229	3	к8	среднеспелый	13,68	-1	37,65	0	25,67	7	4,0	B	22,8	8	4,6
K65	2	3	среднеспелый	22,04	0	36,94	0	29,49	7	3,4	BC	21,9	7	4,1
K824	2	3	ранний	18,24	0	34,71	1	26,47	3	3,5	D	23,1	7	4,3
K828	1	2	среднеранний	18,62	0	35,06	1	26,84	7	3,8	D	25,2	8	4,5

При селекции специальных сортов для переработки на картофелепродукты особые требования предъявляются к содержанию сухих веществ (20-25%) и редуцирующих сахаров (0,2-0,5%). Наибольшее значение при производстве картофелепродуктов имеет содержание в клубнях редуцирующих сахаров, которые являются сильными окислителями и при взаимодействии с аминсоединениями, аммиаком или простыми пептидами образуют тёмно-коричневые с рубиновым оттенком меланоидиновые соединения, влияющие на качество получаемой продукции [1–2, 9–13].

Содержание редуцирующих сахаров зависит от сорта, степени зрелости клубней, условий выращивания и хранения и от заражения бактериальными болезнями. Существует зависимость между содержанием сахаров в клубнях и климатическими условиями выращивания. Изучению наследования признака пригодности картофеля к промышленной переработке, обусловленного содержанием редуцирующих сахаров, посвящены единичные работы. Важное значение имеет стабильность вышеуказанных показателей при воздействии биотических и абиотических стрессов. Понижение температуры в течение вегетации, накопление вирусных инфекций в растениях (особенно вируса морщинистой мозаики) вызывают снижение содержания сухих веществ, рост концентрации редуцирующих сахаров.

В целом погодные условия позволили сформировать высокий урожай. Также присутствовали негативные факторы, которые повлияли на качество продукции, а именно: смыкание рядков и цветение прошло при избыточной влажности почвы, после цветения отмечено быстрое исчерпание запасов почвенной влаги, переуплотнение почвы, резкие колебания температур и дефицит влаги в конце вегетации спровоцировали израстание, деформацию и дуплистость клубней, высокая влажность воздуха в течение вегетации способствовала крайне интенсивному развитию фитофтороза и т. д. Такое сочетание условий позволило выделить селекционные образцы с высоким потенциалом урожайности, устойчивостью к болезням и абиотическим факторам.

Данные по изучению столовых сортов представлены в табл. 2. Урожайность по годам различается. Наиболее благоприятным годом для роста и развития был 2022, когда данные по урожайности оказались выше в 1,8 раза, чем в 2021. Среди ранних и очень ранних сортов в неблагоприятный 2021 г. сортообразцы К720 и К77 имели более высокую урожайность, чем контрольные варианты; среди среднеранних – К67, среди среднеспелых и поздних – сортообразец К534. Следует отметить, что при возделывании в сильно различающихся условиях получены стабильные урожаи, а при возделывании в благоприятный 2022 г. у всех изучаемых сортов и сортообразцов урожайность была выше контрольных вариантов. Было несколько контрольных вариантов – это иностранные и отечественные сорта, наиболее распространенные и наиболее урожайные в условиях третьей световой зоны. Среди них отличился сортообразец К629, относящийся к среднеранним, который в благоприятный 2022 год увеличил урожайность на 11% по отношению к стандарту.

При сравнении средней урожайности в различные годы наилучшие показатели были выявлены среди ранних и очень ранних сортов у К720 (34,30 т/га), среди среднеранних – у К629 и у К67 (30,62 и 30,35 т/га соответственно), среди среднеспелых и поздних – у К534 (38,85 т/га).

По устойчивости к израстанию нужно отметить сортообразцы К629, К225 и К23, проявившие себя лучше прочих.

Наилучшие показатели по дегустационной оценке были у сортообразцов К450 (4,5 балла), К629 и К67 (4,0 балла) и К720 (3,9 балла).

Сортообразцы К720 и К629 имели плотную консистенцию, сильную влажность и нежность мякоти, не разваривались.

Сортообразцы К719, К77, К225, К450, К534 имели относительно прочную консистенцию (при накалывании на вилку распадались на две половинки), слегка мучнистую и влажную структуру, сравнительно нежную; слегка потрескавшуюся, очень слабо развариваемую поверхность клубня.

Сортообразец К67 имел хорошую развариваемость поверхности клубня среднего размера (трещины, кожура отстает), консистенцию мягкую (при накалывании на вилку разваливается на несколько частей), клубни несколько суховатые, мучнистые.

Сортообразец К65 имел кулинарный тип ВС. К824 и К828 полностью разваривались, имели мягкую консистенцию, их клубни оказались сильно мучнистыми и сухими.

Таким образом, при комплексной оценке наиболее перспективным из ранних и очень ранних столовых сортообразцов является К720; из среднеранних – К626; из среднеспелых и поздних – К450 и К225 (с фиолетовой окраской мякоти).

Сортообразцы для переработки в хрустящий картофель (табл. 1) имеют среднюю урожайность, близкую к контрольной. Лучшая дегустационная оценка клубней была у сортообразца К229, чуть ниже – у К828. Эти сортообразцы при органолептической оценке чипсов также получили высокие оценки: К229 – 4,6 балла и К828 – 4,5 балла. Сортообразец К229 имел красную мякоть клубня, даже при изготовлении чипсов цвет сохранялся (рис. 1–2). Эти сортообразцы получили альтернативное название: К229 – Суворовский и К828 – Марсианка.

К828 (Суворовский) – среднеранний, относительно устойчив к фитофторозу, устойчив к морщинистой мозаике (Y-вирусу). Мякоть клубней кремовая, пригоден для переработки на хрустящий картофель, также в качестве столового – для приготовления пюре и запекания.

К229 (Марсианка) – среднеранний, относительно устойчив к фитофторозу, устойчив к морщинистой мозаике (Y-вирус). Мякоть клубней красная, пригоден для переработки на хрустящий картофель, также в качестве столового – для варки, жарки и запекания.

Для изготовления хрустящего картофеля лучшими сортообразцами являются К229 – Суворовский и К828 – Марсианка.

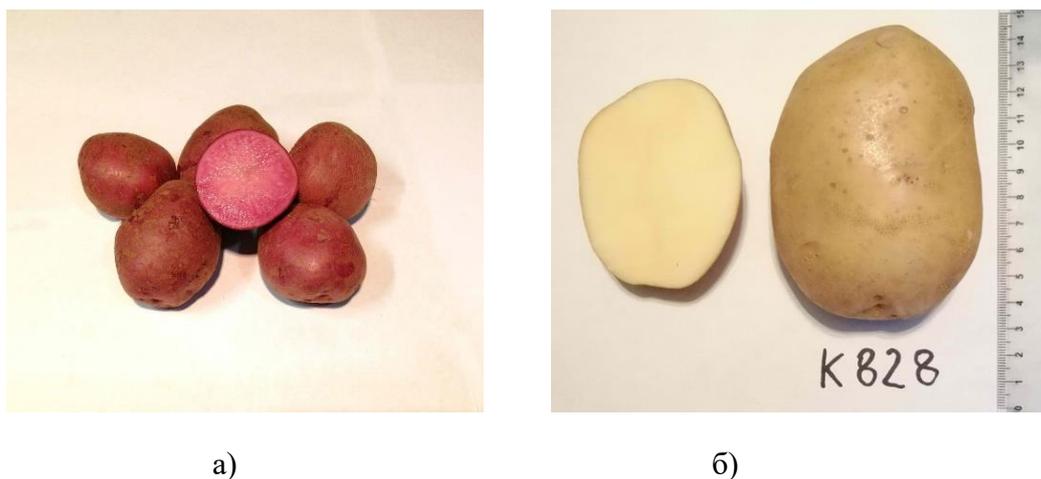


Рисунок 1. Сортообразцы: а) K229 – Марсианка, б) K828 – Суворовский  
Picture 1. Varietals: a) K229 – Martian, b) K828 – Suvorovsky

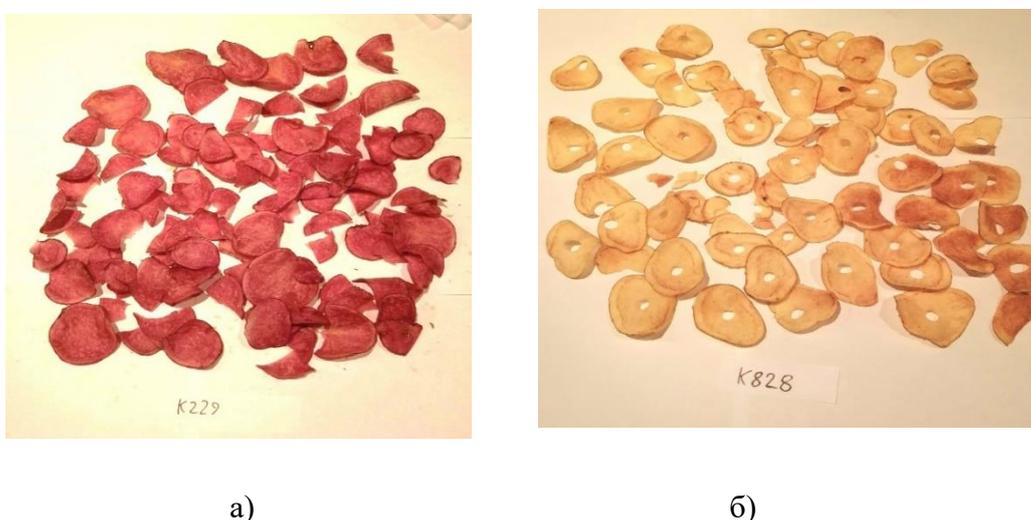


Рисунок 2. Готовый продукт (хрустящий картофель):  
а) K229 – Марсианка, б) K828 – Суворовский  
Picture 2. Finished product (crispy potatoes):  
а) K229 – Martian, б) K828 – Suvorovsky

**Выводы.** Проведенная комплексная оценка позволяет выделить стабильные столовые и пригодные к промышленной переработке новые сорта картофеля. Наиболее перспективным по типу А из ранних и очень ранних столовых сортообразцов является K720, из среднеранних – K629; по типу В из ранних и очень ранних – K 77, из среднеспелых и поздних – K450 и K225 (с фиолетовой окраской мякоти и высоким содержанием антоцианов); пригодные к промышленной переработке (на хрустящий картофель) по типу D сортообразцы картофеля K828 и по типу В – K229. Сортообразцы можно рекомендовать для возделывания всем производителям независимо от типа предприятия.

#### Список источников литературы

1. Гаспарян, И.Н. Урожай зависит от технологии // Картофель и овощи. – 2016. – № 1. – С. 28–29.
2. Будин, К.З. Генетические основы селекции картофеля. – Ленинград, 1986. – 192 с.

3. Пыльнев, В.В., Коновалов, Ю.Б., Хупацария, Т.И. и др. Частная селекция полевых культур. – Москва, 2005. – 552 с.
4. Зотеева, Н.М., Васильев, В.В., Семенова, А.Г. Устойчивость клубней к фитофторозу и содержание гликоалкалоидов у образцов картофеля различного происхождения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (62). – С. 77–84. – doi: 10.24412/2078-1318-2021-1-77-84.
5. Кирюшин, Б.Д. Методика научной агрономии часть 1. Москва, 2004. – 167 с.
6. Симаков, Е.А., Скларова, Н.П., Яшина, И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. – Москва, 2006. – 69 с.
7. Методика исследований по культуре картофеля. – М.: НИИКХ, 1967. – 263 с.
8. Кутсаманова, И.Н., Попкова, К.В. Приемы оздоровления картофеля от вирусных болезней // Научная конференция молодых ученых и специалистов, Москва, 10-11 июня 1997 г.: сборник трудов. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 1999. – С. 49–54.
9. Сычев, В.Г., Гаспарян, И.Н., Денискина, Н.Ф., Ивашова, О.Н. Экологическая адаптивность раннеспелых сортов картофеля в условиях России // Плодородие, 2022. – № 4 (127). – С. 79–83.
10. Спиридонов, А.М., Рачеева, А.И. Влияние сорта и удобрений на продуктивность и качество урожая картофеля // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (71). – С. 9–19, doi: 10.24412/2078-1318-2023-2-9-19.
11. Use of microbiological fertilizer in planting early potatoes (SOLÁNUM TUBERÓSUM) in the conditions of Belgorod Region, Russia. Gasparyan I., Levshin A., Dyikanova M., Gasparyan S., Deniskina N., Berdyshev V., Smurov S. // Research on Crops. 2021. T. 22. № 4. pp. 875–880.
12. A Boost to Integrated Management of Certain Potato Diseases Using Metal Nanoparticles / V. N. Zeyruk, S. V. Vasilieva, G. L. Belov, M.K. Derevyagina, O.A. Bogoslovskaya, I.P. Olkhovskaya, A.G.Yablokov, N.N. Glushchenko // Potato Research. – 2022 – Vol. 65, No. 2 – pp. 273-288. – DOI 10.1007/s11540-021-09518-9. – EDN QCSSLP
13. Development of quality potato seed production system in Russia. / Boris V. Anisimov, Evgeny A. Simakov, Alexey V. Mityushkin, Alexey A. Zhuravlev and Sergey N. Zebrin Potato J (2022) 49 (2): pp. 117–122.

### References

1. Gasparyan I.N. The harvest depends on the technology // Potatoes and vegetables. 2016. – No. 1, pp. 28–29.
2. Budin K.Z. Genetic foundations of potato breeding. Leningrad, 1986. – 192 p.
3. Pylnev V.V., Konovalov Yu.B., Khupatsaria T.I. et al. Private selection of field crops. Moscow, 2005. – 552 p.
4. Zoteeva N.M., Vasiliev V.V., Semenova A.G. Resistance of tubers to late blight and the content of glycoalkaloids in potato samples of various origin // Proceedings of the Saint-Petersburg State Agrarian University. – 2021. – № 1 (62). pp. 77–84. – doi: 10.24412/2078-1318-2021-1-77-84.
5. Kiryushin B.D. Methodology of scientific agronomy part 1. Moscow, 2004. – 167 p.
6. Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I. M. Methodological guidelines on the technology of potato breeding process. Moscow, 2006. – 69 p.
7. Methods of research on potato culture M.: НИИКХ, 1967. – 263 p.
8. Kutsamanova I.N., Popkova K.V. Methods of potato recovery from viral diseases // Scientific conference of young scientists and specialists, Moscow, June 10-11, 1997, In the collection: Proceedings of the scientific conference of young scientists and specialists. Moscow: RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. – 1999. pp. 49–54.

9. Sychev V.G., Gasparyan I.N., Deniskina N.F., Ivashova O.N. Ecological adaptability of early-ripening potato varieties in the conditions of Russia // *Fertility*, 2022. – № 4 (127). pp. 79–83.
10. Spiridonov A.M., Racheeva A.I. Influence of varieties and fertilizers on productivity and quality of potato harvest // *Proceedings of the Saint-Petersburg State Agrarian University*. – 2023. – № 2 (71). pp. 9–19. – doi: 10.24412/2078-1318-2023-2-9-19.
11. Use of microbiological fertilizer in planting early potatoes (SOLÁNUM TUBERÓSUM) in the conditions of Belgorod Region, Russia. Gasparyan I., Levshin A., Dyikanova M., Gasparyan S., Deniskina N., Berdyshev V., Smurov S. // *Research on Crops*. 2021. Т. 22. № 4. pp. 875–880.
12. A Boost to Integrated Management of Certain Potato Diseases Using Metal Nanoparticles / V. N. Zeyruk, S. V. Vasilieva, G. L. Belov, M.K. Derevyagina, O.A. Bogoslovskaya, I.P. Olkhovskaya, A.G.Yablokov, N.N. Glushchenko // *Potato Research*. – 2022 – Vol. 65, No. 2 pp. 273-288. – DOI 10.1007/s11540-021-09518-9. – EDN QCSSLP
13. Development of quality potato seed production system in Russia. Boris V. Anisimov\*, Evgeny A. Simakov, Alexey V. Mityushkin, Alexey A. Zhuravlev and Sergey N. Zebrin *Potato J* (2022) 49 (2): pp. 117–122.

#### Сведения об авторах

**Гаспарян Ирина Николаевна**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», Москва, <https://orcid.org/0000-0003-4702-0095>; SPIN-код: 3354-1594, Scopus author ID: 57209269061; e-mail: irina150170@yandex.ru.

**Петрова Марина Александровна**, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», Москва, SPIN-код: 8539-9505; e-mail: marisha0601@yandex.ru.

**Гаспарян Шаген Вазгенович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции технологического института, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», Москва, <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>, SPIN-код: 3354-1594, Scopus author ID: 57300361300; e-mail: schagen2010@yandex.ru.

#### Information about the authors

**Irina N. Gasparyan**, Doc. Sci. (Agric.), Associate Professor, Chief Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov”, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4702-0095>; SPIN-code: 3354-1594, Scopus author ID: 57209269061; e-mail: irina150170@yandex.ru.

**Marina A. Petrova**, Junior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov”, Moscow, Russia; SPIN-code: 8539-9505; e-mail: marisha0601@yandex.ru.

**Shagen V. Gasparyan**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruits, Vegetables and Plant Growing Products, Technological Institute, Federal State Budgetary Educational Institution “Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev”, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>; SPIN-code: 3354-1594, Scopus author ID: 57300361300; e-mail: schagen2010@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 04.10.2023; одобрена после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 04.10.2023; approved after reviewing 12.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 631.5

Код ВАК 4.1.1

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-36-46

## ВЛИЯНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ОВОЩНЫХ СЕВООБОРОТОВ НА ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Д.А. Футкарадзе<sup>1</sup> ✉, Ю.С. Суровцева<sup>1</sup>, В.П. Царенко<sup>1</sup>

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

**Реферат.** Воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв является одной из актуальных проблем современного земледелия. Основным фактором плодородия считается содержание в почве органического вещества и его специфического компонента – гумуса. В статье представлено несколько основных показателей плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы 1982 г. перед освоением овощных севооборотов. Содержание гумуса в процентах (по Тюрину) составляло в пахотном слое в пределах 5,1-5,3; содержание подвижного фосфора мг/100 г почвы (по Кирсанову) в пахотном слое составляло в пределах 15,5-17,2; содержание подвижного калия мг/100 г почвы колебалось в пределах 13,0-15,1; рН солевой: 5,7 – 6,1. С 1982 по 1996 г. земельный массив площадью 120 га был занят под овоще-кормовой севооборот, после он был заменен на 6-польный сидеральный севооборот. В результате длительного функционирования севооборотов произошло незначительное уменьшение содержания гумуса, существенное уменьшение содержания подвижных форм фосфора и калия, а также обнаружено повышение кислотности почв по результатам обследования 2021 г. Установлено что в 6-польном овоще-кормовом севообороте дефицит гумуса составил 4,06 т/га, а в 6-польном овощном севообороте – 13,6 т/га за ротацию севооборота. Таким образом, схемы чередования культур, особенно во втором севообороте при замене трех полей многолетних трав сидеральным паром и однолетними травами, а также дозы применяемых органических и минеральных удобрений не обеспечивали простого воспроизводства плодородия дерново-подзолистых легкосуглинистых почв. С целью достижения простого воспроизводства плодородия почв в овощных севооборотах необходимо рассчитывать дозы органических и минеральных удобрений не только на планируемый

урожай, но и для создания условий простого воспроизводства плодородия на хорошо окультуренных почвах.

**Ключевые слова:** почва, гумус, севооборот, плодородие почв, простое воспроизводство, воспроизводство плодородия

**Для цитирования:** Футкарадзе Д.А., Суровцева Ю.С., Царенко В.П. Влияние оптимизации овощных севооборотов на воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – с. 36–46, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-36-46 .

## INFLUENCE OF OPTIMIZATION OF VEGETABLE CROP ROTATIONS ON FERTILITY REPRODUCTION OF SOD-PODZOLIC SOILS

D.A. Futkaradze<sup>1</sup>✉, Y.S. Surovtseva<sup>1</sup>, V.P. Tsarenko<sup>1</sup>

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

✉ futkaradze@mail.ru

**Abstract.** Reproduction of fertility of sod-podzolic soils is one of the urgent problems of modern farming. The main factor of fertility is the organic matter content in the soil and its specific component – humus. The article presents several main indicators of the fertility of sod-podzolic light loamy soil in 1982 before the development of vegetable crop rotations. The humus content in percentage (according to Tyurin) in the arable layer was in the range of 5.1 – 5.3; the content of mobile phosphorus mg/100 g of soil (according to Kirsanov) in the arable layer was in the range of 15.5 – 17.2; the content of mobile potassium mg/100 g of soil ranged from 13.0 – 15.1; Saline pH: 5.7 – 6.1. From 1982 to 1996, a land mass of 120 hectares was occupied by vegetable-forage crop rotation. In 1996, the crop rotation scheme was replaced by a 6-field green manure crop rotation. As a result of the long-term operation of crop rotations, there was a slight decrease in the humus content, a significant decrease in the content of mobile forms of phosphorus and potassium, and an increase in soil acidity was detected according to the results of the 2021 survey. It was established that in a 6-field vegetable-forage crop rotation, the humus deficit was 4.06 t/ha, and in a 6-field vegetable crop rotation – 13.6 t/ha per crop rotation. Thus, the schemes of crop rotation, especially in the second crop rotation when replacing three fields of perennial grasses with green manure fallow and annual grasses, as well as the doses of organic and mineral fertilizers used, did not ensure simple reproduction of the fertility of sod-podzolic light loamy soils. In order to achieve simple reproduction of soil fertility in vegetable crop rotations, it is necessary to calculate doses of organic and mineral fertilizers not only for the planned harvest, but also to create conditions for simple reproduction of fertility on well-cultivated soils.

**Keywords:** soil, humus, crop rotation, soil fertility, simple reproduction, fertility reproduction

**For citation:** Futkaradze D.A., Surovtseva Yu.S., Tsarenko V.P. (2023), "The influence of optimization of vegetable crop rotations on the fertility reproduction of sod-podzolic soils", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. – 5 (74). – pp. 36–46, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-36-46.

**Введение.** Севооборот является главным звеном воспроизводства плодородия почв, сложившимся в современных системах земледелия. От правильного обоснования структуры посевных площадей севооборотов в значительной степени зависит эффективность применения удобрений, систем обработки почв, систем защиты растений и других агрономических мероприятий [4]. Сохранение и повышение плодородия почв, а также простое

воспроизводство органического вещества почвы на хорошо окультуренных землях приобретают агрономическую, экологическую и экономическую значимость в земледелии.

Общеизвестно, что в почвах одновременно проходят два противоположных процесса, которые связаны с трансформацией органического вещества, – минерализация и гумификация. За счет минерализации гумуса в значительной мере удовлетворяются потребности всех сельскохозяйственных культур в питательных элементах. По мнению В.И. Кирюшина, сельскохозяйственные культуры на 50% удовлетворяют свои потребности в элементах питания из почвы и на 50% – за счет внесения удобрений [3].

На процессы минерализации и гумификации органического вещества оказывают влияние уровень содержания гумуса, возделываемая культура, интенсивность обработки почвы, степень увлажнения, технология возделывания культуры и другие условия. Доказано, что в зависимости от различных условий в год минерализуется от 0,5 до 3 т/га органического вещества почвы [5].

Содержание гумуса является определяющим фактором почвенного плодородия. Повышение содержания гумуса экономически обходится очень дорого. Установлено, что внесение 100 т/га навоза должно увеличить содержание гумуса на 0,2%. Однако по данным А.Н. Небольсина, охватывающим 400 наблюдений за 26 лет, ежегодное систематическое внесение навоза в полевом севообороте в дозе 100 т/га в год в течение вышеуказанного периода повысило содержание гумуса всего лишь на 0,15%. Внесение 20 т/га навоза ежегодно в течение 17 лет (по данным 336 наблюдений) повысило содержание гумуса всего на 0,27% [5].

Многолетние травы (клевер, тимофеевка) с урожайностью 5 т/га оставляют в почве 6–6,5 т/га сухого вещества растительных остатков, что эквивалентно по накоплению гумуса 20 тоннам подстилочного навоза [2]. Поэтому все резервы накопления органического вещества в почве за счет корневых, пожнивных остатков и соломы должны быть использованы более рационально, особенно в фермерских хозяйствах, которые специализируются на производстве только растениеводческой продукции.

Изменение структуры посевных площадей севооборота, изыскание правильного соотношения многолетних трав, пропашных культур, занятых и сидеральных паров позволяют значительно сократить дефицит гумуса почвы. На дерново-карбонатных почвах 5-польный зерно-травяной севооборот при соотношении многолетних трав 60% и зерновых культур 40% обеспечивает положительный баланс гумуса 1,98 т/га за ротацию севооборота [9]. При заделке растительных остатков и измельченной соломы на этих же почвах традиционная зяблевая вспашка на глубину 24–26 см более эффективна для создания гумуса, чем минимальные обработки почвы [10]. В звене севооборота: 1) сидеральный пар, 2) овес, 3) тритикале полная заделка сидерата, измельченной соломы, овса и тритикале обеспечивает бездефицитный баланс гумуса в дерново-карбонатных сренесуглинистых почвах [8].

Многие исследователи единогласны во мнении, что насыщение схем севооборотов многолетними травами, увеличение доли бобовых многолетних трав и зерно-бобовых культур, а также включение промежуточных культур и промежуточной сидерации при применении оптимальных доз органических и минеральных удобрений обеспечивают бездефицитный и даже положительный баланс гумуса почвы [1, 6, 7]. Однако применение таких методов на практике имеет ограничения из-за биологических, экономических и организационных условий производства.

**Цель исследований** – изучение изменений некоторых параметров плодородия почв и оценка воспроизводства плодородия почв после длительного функционирования овощных севооборотов с использованием методики А.Н. Небольсина [5].

**Материалы, методы и объекты исследований.** Исследования проводились на территории АО «Племхоз им. Тельмана» Ленинградской области. Объектами исследований являлись хорошо окультуренные дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы с мощностью пахотного слоя 38–40 см, овощные севообороты и взаимосвязи между почвой и севооборотами. Использовались общепринятые методики исследования дерново-подзолистых почв.

Овоще-кормовой севооборот был развернут в трёх контурах земельного массива площадью 120 га. В севооборотах производили учет урожайности сельскохозяйственных культур, определяли количество корневых и пожнивных остатков, поступающих в почву после предшественников; анализировали применяемые технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

**Результаты исследований.** Характеристика почв приведена в табл. 1 по данным третьего тура обследований, проведенных агрохимической лабораторией в 1982 г.

Таблица 1. **Параметры плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы**  
 Table 1. **Fertility parameters of sod-podzolic light loamy soil**

№	Показатели	I контур	II контур	III контур
1	Содержание гумуса % (по Тюрину)	5,2	5,1	5,3
2	Содержание подвижного фосфора мг/100 г почвы	15,5	16,1	17,2
3	Содержание подзолистого калия мг/100 г почвы	13,0	15,1	14,8
4	рН солевой	5,8	5,7	6,1

На этих трех контурах до 1996 г. функционировал 6-типольный овоще-кормовой травяно-пропашной севооборот. Схема севооборота приведена в табл. 2.

Расчеты показывают, что для компенсации потери гумуса во время ротации севооборота требуется вносить 80 т/га навоза при условии, что с одной тонны навоза образуется 50 кг гумуса. На легкосуглинистых почвах с учетом коэффициента минерализации гумуса (1,2) доза внесения навоза возрастает до 96 т/га. Для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в овоще-кормовом севообороте необходимо вносить органические удобрения не только под капусту, но и под однолетние травы.

Таблица 2. Баланс гумуса в 6-типольном овоще-кормовом пропашном севообороте  
Table 2. Humus balance in 6-type vegetable-fodder row crop rotation

№ поля	Культура в севообороте	Урожайность с/х культуры, т/га	Потери гумуса	Накопление корневых и пожнивных	Коэффициент гумификации	Накопление гумуса т/га	Баланс гумуса (+,-)
1	Однолетние травы с подсевом многолетних трав	42,0	0,9	4,4	0,15	0,66	- 24
2	Многолетние травы первого года пользования	7,0	0,8	7,5	0,20	1,5	+ 0,7
3	Многолетние травы второго года пользования	7,5	0,8	6,7	0,20	1,34	+ 1,54
4	Многолетние травы третьего года пользования	6,5	0,7	6,4	0,15	0,96	+ 0,26
5	Капуста белокочанная	80,0	3,1	4,4	0,1	0,44	- 2,66
6	1/2 свекла столовая 1/2 морковь	55	3,1	4,4	0,1	0,44	- 2,66
Всего за ротацию		-	9,4	-	-	5,34	- 4,06

В 1996 г. земельный участок был передан в аренду фермерскому хозяйству Д.В. Фокина. Схема севооборота была изменена из-за дефицита семян многолетних трав и ряда других причин. В табл. 3 приведены схема севооборота и баланс гумуса почвы под сельскохозяйственными культурами.

Таблица 3. Баланс гумуса в овощном 6-польном сидеральном севообороте  
Table 3. Humus balance in vegetable 6-full sideral crop rotation

№ поля	Культура в севообороте	Урожайность с/х культуры, т/га	Потери гумуса	Накопление корневых и пожнивных	Коэффициент гумификации	Накопление гумуса, т/га	Баланс гумуса (+, -)
1	Пар сидеральный (однолетние травы)	40,0	0,9	4,0	0,15	0,6	- 0,3
2	Капуста белокочанная	60,0	3,1	4,4	0,1	0,44	- 2,66
3	1/2 морковь 1/2 свекла	55,0	3,1	2,4	0,1	1,24	- 2,86
4	Картофель	45	1,8	4,4	0,08	0,35	-1,45
5	1/2 капуста цветная 1/2 зеленные овощи	20	3,0	1,35	0,1	0,13	- 2,86
6	Силосные	60	3,8	3,6	0,1	0,36	- 3,44
Всего за ротацию		-	15,7	-	-	2,12	- 13,6

Из приведенных данных видно, что после первой ротации дефицит гумуса составил 13,6 т/га. Для покрытия дефицита гумуса требуется внесение 272 т навоза под культуры севооборота. Однако с учетом поправочного коэффициента на гранулометрический состав

необходимо увеличить дозу навоза под культуры севооборота до 326 т, что обеспечит простое воспроизводство органического вещества почвы.

В 2021 г. на трех контурах фермерского хозяйства были определены некоторые показатели плодородия почвы, приведенные в табл. 4.

Таблица 4. Влияние овощных севооборотов длительного функционирования на некоторые показатели плодородия почв  
 Table 4. The effect of vegetable crop rotations of long-term operation on some indicators of soil fertility

№ контура	Слой почвы, см	Содержание гумуса, % (по Тюрину)	Содержание подвижного фосфора, мг на 100 г почвы (по Кирсанову)	Содержание подвижного калия, мг на 100 г почвы (по Кирсанову)	pH солевой
I	0-10	4,80	16,7	9,71	5,55
	10-20	4,70	13,1	7,25	5,18
	20-30	4,50	13,65	13,27	5,40
	Среднее	4,66	14,48	8,07	5,37
II	0-10	4,4	13,8	3,49	5,08
	10-20	4,6	13,0	8,20	4,91
	20-30	4,3	12,9	8,16	4,04
	Среднее	4,40	13,23	6,62	4,74
III	0-10	4,8	8,55	3,69	5,04
	10-20	4,9	11,65	2,84	5,02
	20-30	4,5	11,3	3,64	4,96
	Среднее	4,73	10,5	4,60	5,00

В 1982 г. содержание гумуса колебалось в пределах 5,1–5,3% в пахотном слое 20 см. В 2021 г. содержание гумуса на этих контурах существенно уменьшилось и колебалось в пределах 4,4–4,73%, возможно, из-за недостаточного внесения органических удобрений, неоднородности полей и разницы в методиках отбора проб почв на исследуемых контурах в 1982 и 2021 гг. Однако минимальные показатели содержания гумуса не опускались ниже благоприятного интервала содержания гумуса для овощных культур и картофеля. По мнению А.Н. Небольсина и И.Н. Донских, благоприятным интервалом содержания гумуса под

овощные культуры считается 3,5–8%, а для картофеля – 2,5–4% [2, 5]. Наши исследования показали, что дифференциация пахотного слоя (0–30 см) по вертикальному профилю не обнаружена.

Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве трех контуров в 1982 г. колебалось в пределах 15,5–17,2 и 13–15,1 мг/100 г почвы соответственно, что считается показателем повышенной степени обеспеченности почв вышеуказанными элементами [2]. По данным А.Н. Небольсина, оптимальными уровнями содержания подвижных форм фосфора и калия на дерново-подзолистых, легко- и среднесуглинистых почвах под овощные культуры считаются 25 мг/100 г почвы, а под картофелем – 18 мг/100 г почвы. А.Н. Небольсин доказал, что если фосфорные удобрения не вносятся, ежегодное снижение содержания в почве фосфора под овощные культуры составляет 0,7–1,3 мг/100 г почвы, под картофель – 0,8–1,0 мг/100 г почвы, под многолетние травы – 0,3–0,8 мг/100 г почвы, под сельскохозяйственные культуры в целом интервал снижения может быть от 0,3 до 1,6 мг/100 г почвы [5]. Это значит, что при средней степени обеспеченности почв 10 мг/100 г почвы через 8–10 лет невозможно будет получать стабильные урожаи сельскохозяйственных культур из-за реализации закона минимума в земледелии.

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что содержание подвижного фосфора в первом и втором контурах составляет 13,23–14,48 мг/100 г почвы. В третьем контуре содержание фосфора уменьшилось до 10,5 мг/100 г почвы, что указывает на непригодность третьего контура для выращивания овощных культур и картофеля.

После длительного функционирования овощных севооборотов произошло заметное уменьшение содержания в почве подвижного калия по сравнению с исходными данными (табл. 1 и 4), особенно в третьем контуре: с 14,8 до 4,6 мг/100 г почвы. Возможно, это произошло из-за недостаточного внесения калийных удобрений, интенсивного потребления калия культурами, вымывания и т. д., а главной причиной можно считать внесение минимальных доз калийных и фосфорных удобрений в условиях фермерского хозяйства с целью более высокой окупаемости производимой продукции. Рекомендуется обязательное внесение калийных удобрений под карофель при содержании подвижного калия менее 20 мг и под овощные культуры (капуста, морковь, свекла) менее 25 мг/100 г почвы.

Важным показателем плодородия является кислотность почвы. Показатели рН солевой после длительного функционирования севооборотов в слое почвы 0–30 см в первом контуре составил 5,37, во втором контуре – 4,74 и в третьем контуре – 5,0 (табл. 4). Произошло заметное повышение кислотности по сравнению с исходными показателями: 5,8; 5,7; 6,1 (табл. 1) соответственно.

По данным И.Н. Донских, в севооборотах с овощными культурами оптимальным уровнем рН солевой считается 5,7–6,7 при содержании гумуса 3–4% на легко- и среднесуглинистых почвах, и рН солевой 5,3–5,2 – в севообороте с картофелем и многолетними травами [2]. А.Н. Небольсин отмечает: если фактический уровень реакции конкретной почвы ниже оптимального на 0,6–1,0 единицу рН, такие почвы нуждаются в известковании в первую очередь, на 0,3–0,5 рН – во вторую очередь и на 0,1–0,3 рН почвы нуждаются в поддерживающем известковании [5]. Поддерживающее известкование проводится один раз в 2 года дозами, компенсирующими вынос кальция и магния с урожаями и их неизбежные потери за счет вымывания (1,5–2 тонны СаСО<sub>3</sub>/га).

Повышению кислотности почв способствуют сидеральный пар и заделка растительной массы в почву. Для выращивания капусты, моркови, свеклы и бобовых трав требуется проведение поддерживающего известкования данных почв.

Следует отметить, что системы обработки почв, применяемые в условиях племхоза и фермерского хозяйства, оказывали решающее влияние на процессы минерализации и гумификации. В условиях племхоза применялись более интенсивные обработки почвы, чем в условиях фермерского хозяйства. Использование многолетних трав трехлетнего пользования способствовало оптимизации систем обработки почв в условиях племхоза. В условиях фермерского хозяйства использовались менее интенсивные обработки почв, но был введен более интенсивный севооборот без многолетних трав. Уровень применения органических и минеральных удобрений в условиях фермерского хозяйства осуществлялся в минимальных дозах, что своеобразно повлияло на процессы минерализации и гумификации органического вещества.

Оптимальные параметры агрофизических свойств почвы являются важными показателями воспроизводства плодородия почв. Содержание воздушно-сухих агрегатов (агрономически ценных) размером 0,5–10,0 мм в слое почвы 0–30 см составляло 58–63%, а водопрочных агрегатов – 54–58%, что считается оптимальными уровнями для этих почв.

Показатели плотности почвы в слоях 0–10; 10–20 и 20–30 см составляли 1,10–1,12; 1,15–1,17 и 1,19–1,24 г/см<sup>3</sup> соответственно. В течение длительного периода почва сохраняет устойчивое сложение, заданное при весенней предпосевной обработке, что является важным условием для выращивания пропашных культур. По вертикальному профилю почвы отсутствует дифференциация показателей агрофизических свойств почвы. Подзолообразовательный процесс переместился глубже 40–45 см. В этом слое почвы были обнаружены белесые редкие пятна подзолообразования.

Вероятно, на создание благоприятных агрофизических свойств почвы оказало влияние внесение высоких доз органических удобрений в советский период ведения сельского хозяйства.

Из сопутствующих наблюдений следует отметить, что на контурах 1 и 2 были обнаружены 3 полосы засоренности хвощом полевым шириной 3–4 м, длиной 50–60 м в направлении с севера на юг. Определение рН солевой показало, что в слоях почвы 0–10, 10–20 и 20–30 см значения рН составляли 5,8; 5,57 и 5,55 единиц соответственно. Эти показатели практически не отличались от показателей рН солевой общей массы.

#### **Выводы:**

1. Оптимизация структуры посевных площадей севооборота способствовала сокращению дефицита гумуса почв, повышению плодородия, урожайности сельскохозяйственных культур и экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

2. Длительное функционирование овощных севооборотов и использование соответствующих им технологий возделывания культур уменьшило содержание гумуса по сравнению с исходными показателями, однако почва сохранила благоприятный интервал содержания гумуса для возделывания овощных культур и картофеля.

3. Содержание подвижного фосфора и калия существенно уменьшилось по сравнению с исходными показателями в связи с использованием минимальных доз минеральных удобрений в фермерском хозяйстве с целью высокой окупаемости производимой продукции.

4. Установлено повышение кислотности почв по сравнению с исходными показателями из-за использования сидерального пара, заделки измельченной соломы и растительных остатков в почву и отсутствия поддерживающего известкования почв.

5. Многолетнее использование овощных севооборотов и технологий возделывания сельскохозяйственных культур способствовало сохранению оптимальных параметров агрофизических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

6. Овощной 6-польный травяно-пропашной севооборот при соотношении культур: многолетних трав (49,6%), овощных культур (33,2%), однолетних трав (16,6%) не обеспечивает бездефицитного баланса гумуса; для создания условий простого воспроизводства органического вещества требуется ежегодное внесение навоза 96 т/га под овощные культуры.

7. В овоще-кормовом севообороте при замене трех полей многолетних трав сидеральным паром, однолетними травами и зелеными культурами дефицит гумуса почвы возрастает до 13,6 т/га за ротацию; для покрытия дефицита гумуса требуется ежегодное внесение 326 тонн навоза под овощные культуры.

8. В овощных севооборотах дозы органических и минеральных удобрений должны быть рассчитаны не только на планируемые урожаи, но и на создание условий простого воспроизводства плодородия на хорошо окультуренных почвах.

9. Севооборот позволяет прогнозировать и более объективно оценивать закономерные изменения показателей плодородия почв по завершении очередной ротации, что имеет важное значение при обосновании простого, неполного расширенного и расширенного воспроизводства плодородия почв с разной степенью окультуренности.

#### Список источников литературы

1. Гладышева, О.В., Свирина, В.А., Артюхова, О.А. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на гумусное состояние почв в длительном стационарном опыте // *Аграрная наука*. – 2020. – № 342 (10). – С. 83–87.
2. Донских, И.Н. Курсовое и дипломное проектирование по системе удобрения. – 3-е изд, перераб и доп. – М.: КолосС, 2004. – 144 с.
3. Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение. – СПб.: КВАДРО, 2013. – 678 с.
4. Лыков, А.М., Еськов, А.И., Новиков, М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. – 630 с.
5. Научные основы и технологии использования удобрений и извести: методические рекомендации / Сост. А. Н. Небольсин. З. Я. Небольсина и др. – СПб., 1997. – 52 с.
6. Никончик, П.И. Севооборот и воспроизводство плодородия почвы. Результаты 30-летнего стационарного опыта // *Известия ТСХА*. – 2012. – Выпуск 3. – С. 88–98.
7. Повышение запасов органического вещества в почвах пахотных земель республики Беларусь / Т. М. Серая, И. М. Богдевич, Е. Н. Богатырева, И. С. Станилевич // *Почвоведение и агрохимия*. – 2021. – № 2 (67). – С. 49–63.
8. Суровцева, Ю.С. Эффективность различных систем предпосевной обработки дерново-карбонатной среднесуглинистой почвы при освоении залежных земель в звене севооборота в условиях Ленинградской области: дисс. ...канд. наук: 06.01.01 Общее земледелие. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 2018. – 196 с.
9. Футарадзе, Д.А. Определение оптимального соотношения многолетних трав, сидеральных и пропашных культур в севооборотах на дерново-карбонатных почвах // *Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы международной научно-практической конференции*. – СПб., 2010. – С. 16–21.

10. Футкарадзе, Д.А. Влияние различной обработки почвы и органических удобрений на баланс гумуса почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 18. – С. 79–81.

#### References

1. Gladysheva O.V., Svirina V.A., Artyukhova O.A. The influence of crop rotations and mineral fertilizers on the humus status of soils in a long-term stationary experiment // *Agrarian Science*, 2020, No. 342 (10), pp. 83–87.
2. Donskikh I.N. Course and diploma design on the fertilizer system. – 3rd edition, revised and additional. – M.: KolosS, 2004. – 144 p.
3. Kiryushin V.I. Agronomic soil science. – St. Petersburg: KVADRO, 2013, 678 p.
4. Lykov A.M., Eskov A.I., Novikov M.N. Organic matter of arable soils of the Non-Black Earth Region. – M.: Russian Agricultural Academy – State Scientific Institution VNIPTIOU, 2004. – 630 p.
5. Scientific principles and technologies for the use of fertilizers and lime: Methodological recommendations / Comp. A.N. Not much. Z.Ya. Nebolsina et al. – St. Petersburg, 1997. – 52 p.
6. Nikonchik P.I. Crop rotation and reproduction of soil fertility. Results of 30 years of inpatient experience // *Izvestia TSKhA*. – Issue 3, 2012. — pp. 88–98.
7. Increasing the reserves of organic matter in the soils of arable lands of the Republic of Belarus / T.M. Seraya, I.M. Bogdevich, E.N. Bogatyreva, I.S. Stanilevich // *Soil Science and Agrochemistry*. – No. 2 (67), 2021. – pp. 49–63.
8. Surovtseva Yu.S. Efficiency of various systems of pre-sowing treatment of sod-carbonate medium loamy soil during the development of fallow lands in the crop rotation link in the conditions of the Leningrad Region: dis. Candidate of Sciences: 01/06/01 – General agriculture. Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", 2018, 196 p.
9. Futkaradze D.A. Determination of the optimal ratio of perennial grasses, green manure and row crops in crop rotations on sod-carbonate soils // International scientific and practical conference "Scientific support for the development of the agro-industrial complex in conditions of reform." – St. Petersburg, 2010, pp. 16–21.
10. Futkaradze D.A. The influence of various tillage and organic fertilizers on the balance of soil humus and the yield of agricultural crops // *News of the Saint-Petersburg State Agrarian University*. – No. 18, 2010, pp. 79–81.

#### Сведения об авторах

**Футкарадзе Дурсун Ахмедович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры земледелия и луговодства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0009-0002-1024-268X>; SPIN-код: 6236-1416, AuthorID: 463382; e-mail: futkaradze@mail.ru.

**Суровцева Юлия Станиславовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедры земледелия и луговодства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; <http://orcid.org/0009-0003-1576-4978>; SPIN-код: 8349-5119, AuthorID: 986941; e-mail: surovceva@spbgau.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», Санкт-Петербург, Россия; <https://orcid.org/000-0003-2495-1997>, SPIN-код: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280; e-mail: tsarenko.prof@yandex.ru.

**Information about the authors**

**Dursun A. Futkaradze**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agriculture and Grassland Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; <http://orcid.org/0009-0002-1024-268X>, SPIN-code: 6236-1416, AuthorID: 463382; e-mail: futkaradze@mail.ru.

**Yulia S. Surovtseva**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Department of Agriculture and Grassland Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; <http://orcid.org/0009-0003-1576-4978>; SPIN-code: 8349-5119, AuthorID:986941; e-mail: surovceva@spbgau.ru.

**Vasily P. Tsarenko**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, 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 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 18.10.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted 18.10.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.*

Научная статья  
УДК 631.89:631.8.022.3  
Код ВАК 4.1.3  
doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-47-59

## ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ БИОМОДИФИКАЦИИ МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ

А.Х. Занилов<sup>1,2</sup>, Н.Л. Адаев<sup>3</sup>, С.Л. Белопухов<sup>4</sup>, А.М. Улимбашев ✉<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия,

<sup>2</sup>Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр КБНЦ РАН, Нальчик, Россия

<sup>3</sup>Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия

<sup>4</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>5</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия  
✉ ulimbashiev\_a@mail.ru

**Реферат.** Система удобрения сельскохозяйственных культур как один из наиболее эффективных, но дорогостоящих агротехнических приемов требует изучения факторов повышения отзывчивости культурных растений на вносимые почвоудобрительные средства. Важным условием достижения обозначенной цели является учет фактора биологической активности почвы и возможности ее повышения посредством применения средств биоактивации. В работе в качестве таких средств использованы подтвердившие свою эффективность в различных регионах страны на разных культурах микробиологические и органические удобрения, в том числе в сочетании с традиционными минеральными удобрениями. Проведенный в 2022 г. полевой эксперимент (с использованием удобрений в различных вариациях) в производственных условиях РСО-Алания в посевах кукурузы, возделываемой на зерно, продемонстрировал возможность повышения урожайности на 6,1–14,1 %. При этом выявлены такие вариации, при которых экономическая эффективность достигается не только за счет роста урожайности, но и за счет снижения расходов на систему питания кукурузы. Так, в варианте с использованием органических удобрений и органо-минеральной смеси расходы снижаются на 1050-2750 руб./га, а общая экономическая эффективность производства составляет 6110-7010 руб./га. Биомодификация системы питания способствовала и реализации биопотенциала кукурузы, что выразилось в повышении содержания в ее зернах протеина и жира. Так, максимальное содержание протеина (12,7%) выявлено в варианте с использованием опудренных сухой формой микроорганизмов минеральных удобрений. Прием биоактивации почвы посредством предпосевного внесения в нее консорциума микроорганизмов привел к увеличению содержания жира в зерне кукурузы на 68,6%.

**Ключевые слова:** биологический потенциал, биоактивация почвы, органические, минеральные и микробиологические удобрения, экономическая эффективность

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке министерства науки и высшего образования РФ в рамках программы «Приоритет 2030».

**Цитирование.** Занилов, А.Х., Адаев, Н.Л., Белопухов, С.Л., Улимбашев, А.М. Влияние приемов биомодификации минеральной системы питания на продуктивность кукурузы и

экономическую эффективность системы удобрения в условиях республики Северная Осетия-Алания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. № 5 (74). С. 47–59, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-47-59.

**INFLUENCE OF BIOMODIFICATION TECHNIQUES OF MINERAL NUTRITION SYSTEM ON MAIZE PRODUCTIVITY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF FERTILISATION SYSTEM IN CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA**

**A. Kh. Zanirov<sup>1,2</sup>, N. L. Adaev<sup>3</sup>, S. L. Belopuhov<sup>4</sup>, A. M. Ulimbashev<sup>5</sup>**✉

<sup>1</sup> Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia;

<sup>2</sup> Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia;

<sup>3</sup> Chechen State University named after A.A. Kadyrov, Grozny, Russia;

<sup>4</sup> Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

<sup>5</sup> Sankt-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

✉ ulimbashv\_a@mail.ru

**Abstract.** The agricultural crops fertilizing system is one of the most effective techniques on the one hand, and more expensive, on the other hand, requires studying the factors of increasing the responsiveness of cultivated plants to the applied fertilizers. An important condition for achieving this goal is to take into account the factor of biological activity of the soil and the possibility of increasing it through using of bioactivation means. Microbiological and organic fertilizers, used in combination with traditional mineral fertilizers have been used as such means, which have proven their effectiveness in various regions of the country and in different cultures. A field experiment conducted in the production conditions of the Republic of North Ossetia-Alania in 2023 using fertilizers in various variations demonstrated the possibility of increasing yields of corn by 6.1–14.1%. At the same time, such variations have been identified in which economic efficiency is achieved not only by increasing yields, but also by reducing the cost of the corn nutrition system. So, in the variant using organic fertilizers and organic-mineral mixture, costs are reduced by 1050–2750 rubles/ ha, and the overall efficiency is 6110–7010 rubles/ ha. The biomodification of the nutrition system also contributed to the realization of the biopotential of corn, which resulted in an increase in protein and fat content. Thus, the maximum protein content (12.7%) was revealed in the variant using mineral fertilizers powdered with a dry form of microorganisms. The acceptance of soil bioactivation by means of pre-sowing introduction of a consortium of microorganisms into the soil led to increasing in the fat content in corn grain by 68.6%.

**Keywords:** *biological potential, soil bioactivation, organic, mineral and microbiological fertilizers, economic efficiency*

**Acknowledgements:** The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russia within the program “Prioritet 2030”.

**Citation.** Zanirov A.H., Adaev N.L., Belopukhov S.L., Ulimbashev A. M. (2023), "Influence of biomodification techniques of mineral nutrition system on maize productivity and economic efficiency of fertilisation system in conditions of the Republic of North Ossetia-Alania", *Izvestiya of Sankt-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 47–59, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-47-59.

**Введение.** В настоящее время отмечается существенный разрыв между биологическим потенциалом сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, заложенным селекционерами, и степенью его реализации в производственных условиях. Одним из наиболее эффективных и традиционно используемых приемов повышения продуктивности кукурузы является использование удобрений различной природы. К сожалению, укоренившаяся инновационная инертность сельскохозяйственных предприятий [1] не позволяет существенно повысить эффективность системы удобрения, которая может быть достигнута за счет включения в систему средств биологического происхождения, повышающих уровень биологической активности почвы.

В научной литературе представлены данные о значительном влиянии микробиологических и органических удобрений, а также их сочетания с минеральными удобрениями на повышение биологической активности почвы [2; 3; 4], что подтверждается положительными результатами в работах авторов из разных регионов страны. Проведенные исследования свидетельствуют о стабильном ее повышении, выраженном в росте интенсивности дыхания почвы и в увеличении общего микробного числа в условиях республики Татарстан, Белгородской и Калужской областей, Кабардино-Балкарской республики [5; 6]. Также обнаруживается тесная зависимость плодородия почвы от уровня ее биологической активности [7; 8; 9]. Решение практических задач в земледелии рекомендуется осуществлять путем регулирования функционирования почвенных микроорганизмов [10], в частности, интродукцией эффективных штаммов бактерий и микроскопических грибов в форме биопрепаратов.

**Цель исследования** – оценка влияния средств биомодификации системы удобрения на урожайность и качество зерна кукурузы; оценка экономической эффективности приемов биоактивации почвы.

**Материалы и методы исследования.** Оценка влияния приемов биоактивации почвы на урожайность кукурузы на зерно проводилась в производственных условиях Алагирского района республики Северная Осетия – Алания (с. Рамоново) на базе агрохолдинга «Агро-ИР» в 2022 г. Основными видами деятельности предприятия являются селекционно-семеноводческая работа, выращивание зерновых и зернобобовых культур на площади 4821 га.

В качестве средств биологической модификации системы питания были использованы микробиологический препарат и органические гранулированные удобрения.

Средства биологической модификации системы питания представлены следующими препаратами:

1. Биопрепаратом Трибактерин, который представляет собой консорциум почвенных микроорганизмов рода *Azotobacter chroococcum* ЕМТ-А88, *Pseudomonas putida ssp.* ЕМТ-Р44, *Bacillus subtilis ssp.* ЕМТ-В33. Концентрация живых клеток  $4 \cdot 10^9$ . Используется в качестве почвенного пробиотика. Вносится посредством опрыскивания почвы в день посева стандартным штанговым опрыскивателем в норме 3 л/га.
2. Биопорошком для обогащения гранул минеральных удобрений, который представляет собой лиафилизированную форму препарата Трибактерин. Наносится на удобрения методом опудривания из расчета 1 кг на 1 тонну минеральных удобрений. Концентрация живых клеток и спор не менее  $1 \cdot 10^9$ .
3. Органическим удобрением, представляющим собой микробиологически и термически ферментированные гранулированные отходы птицеводства с содержанием

органического вещества не менее 60%, содержанием основных макроэлементов NPK (табл. 1).

Таблица 1. **Схема опыта**  
**Table 1. Experiment scheme**

№	Вариант	Вид удобрения	Способ внесения	Номер участка на карте (рис.1)
1	Контроль (схема А/х «ИрАгро»)	Нитроаммофоска, (N <sub>32</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>32</sub> K <sub>2</sub> O <sub>32</sub> )	При посеве	Участок 5
		Амм.селитра (N <sub>34</sub> )	В подкормку	
2	Эталон	Биопрепарат (3 л/га)	Перед посевом опрыскивателем	Участок 1
		Нитроаммофоска (N <sub>32</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>32</sub> K <sub>2</sub> O <sub>32</sub> )	При посеве	
		Амм. селитра (N <sub>34</sub> )	В подкормку	
3	NPK+Биопорошок *	Биопрепарат (3 л/га)	Перед посевом опрыскивателем	Участок 2
		Нитроаммофоска, (N <sub>32</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>32</sub> K <sub>2</sub> O <sub>32</sub> ) +Био	При посеве	
		Амм. селитра (N <sub>34</sub> )	В подкормку	
4	Органо-минеральная смесь	Биопрепарат (3 л/га)	Перед посевом опрыскивателем	Участок 3
		1/2NPK (N <sub>16</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>16</sub> K <sub>2</sub> O <sub>16</sub> )	При посеве	
		1/2 гранулы (50 кг)		
		Амм. селитра (N <sub>34</sub> )	В подкормку	
5	Органическое удобрение	Биопрепарат (3 л/га)	Перед посевом опрыскивателем	Участок 4
		Гранулы (100 кг/га)	При посеве	
		Амм.селитра (N <sub>34</sub> )	В подкормку	

\*– микроорганизмы после лиофилизации, нанесенные методом опудривания 1 кг/т удобрений. Источник: составлено авторами по результатам собственных исследований.

В качестве объекта исследования использовали гибрид кукурузы Пионер П0 217 с нормой высева 74 тыс. семян на гектар. Посев производился пневматической пропашной 8-рядной сеялкой МС-8, агрегатируемой с МТЗ-82. Дата посева – 13 мая 2022 г.

Почва участка представлена темно-серыми лесными среднегумусированными (5,06%), сильнокислыми (рН=4,5) почвами. Отмечается низкое содержание подвижных соединений фосфора – 49 мг/кг почвы (по Чирикову) и повышенное содержание обменного калия – 111 мг/кг почвы. Коэффициент почвенного плодородия составляет 0,62.

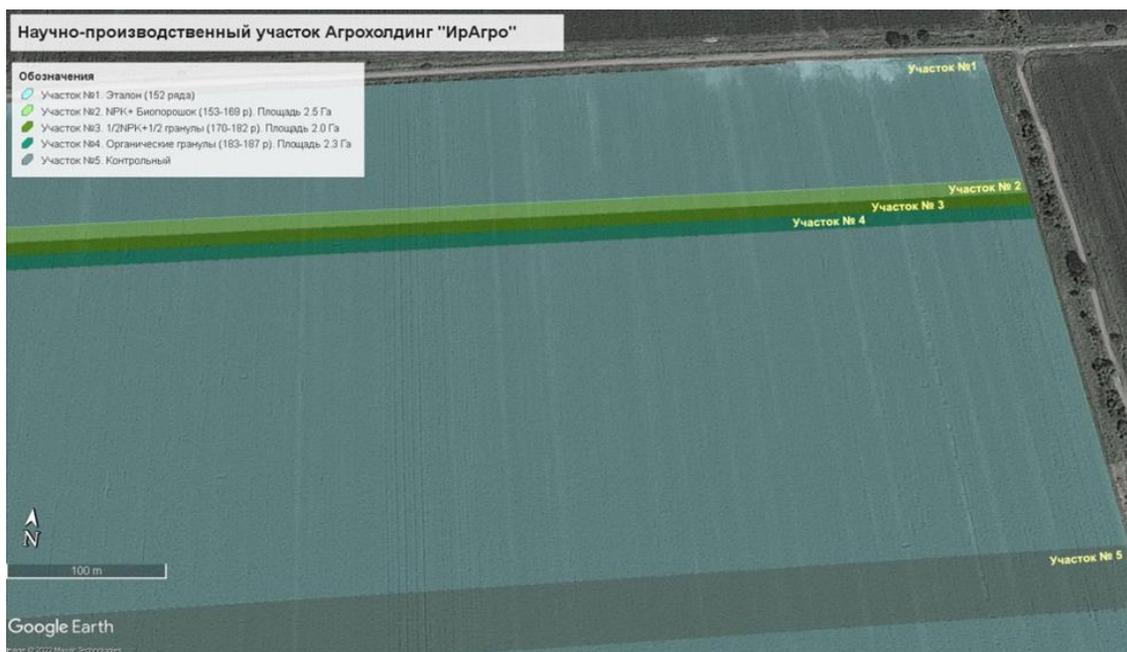


Рисунок 1. Космический снимок места проведения опыта  
 Figure 1. Satellite image of the experiment site

Подсчет биологической урожайности проводился методом учетных делянок по 10 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. Дополнительно проводился учет общего количества стеблей, доли продуктивных стеблей (по наличию початков), средней массы початков на 1 га, средней массы 1 початка, доли зерна в початке. Отделение зерна от початков проводилось с использованием ручной луцилки кукурузных початков с последующим взвешиванием зерна на электронных весах.

Учет бункерного веса зерна в каждом варианте проводился на элеваторе Агрохолдинга «Агро-ИР». Дата уборки урожая: 08 ноября 2022 г. Качественные показатели зерна кукурузы оценивались в учебно-научном центре коллективного пользования РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений».

Таблица 2. Координаты расположения вариантов опыта  
Table 2. Location coordinates of experiment options

Варианты опыта	Географические координаты углов участка*	Площадь, га
Эталон (точки 1-2-3-4 на карте)	N43.130171°; E44.212186°	2,4
	N43.129177°; E44.212507°	
	N43.127011°; E44.188636°	
	N43.126150°; E44.188864°	
NPK+ Биопорошок (точки 2-5-4-6 на карте)	N43.129177°; E44.212507°	2,4
	N43.129074°; E44.212543°	
	N43.126150°; E44.188864°	
	N43.126028°; E44.188910°	
Органо-минеральная смесь ½ NPK+1/2 гранулы (точки 5-7-6-8 на карте)	N43.129074°; E44.212543°	2,4
	N43.128985°; E44.212572°	
	N43.126028°; E44.188910°	
	N43.125933°; E44.188946°	
Органическое удобрение (точки 7-9-8-10 на карте)	N43.128985°; E44.212572°	2,4
	N43.128883°; E44.212601°	
	N43.125933°; E44.188946°	
	N43.125832°; E44.188978°	
Контроль (схема А/х «ИрАгро»)	N43.126772°; E44.213185°	2,4
	N43.126422°; E44.213277°	
	N43.123224°; E44.189776°	
	N43.123600°; E44.189646°	

\*N – широта в десятичных градусах

E – долгота в десятичных градусах

Экономическая эффективность приемов биоактивации почвы была определена по технологической карте.

**Метеорологические условия вегетационного периода 2022 года.** Сумма осадков за вегетационный период составила 442,9 мм, сумма температур за этот же период 2928 °С. Гидротермический коэффициент ГТК = 1,5. В соответствии с ранжированием территорий по ГТК в 2022 г. условия влагообеспеченности соответствовали лесной зоне. При этом немаловажное значение имеет сумма осадков, выпадающих в период отсутствия активной вегетации. Данные осадки обеспечивают в более глубоких слоях почвы объем продуктивной влаги, которая в течение вегетации эффективно используется растениями. Так, за период январь–апрель объем выпавших осадков составил 100,4 мм, т. е. 23% от объема осадков, выпавших за период активного использования растениями кукурузы (май–август).

**Результаты исследований.** В результате учета биологической урожайности было выявлено, что приемы биологизации земледелия, используемые в эксперименте, имели различную степень эффективности реализации биоресурсного потенциала кукурузы (табл. 3).

Данные табл. 3 свидетельствуют о положительном влиянии испытанных средств биологической модификации системы питания. Так, вариант с обработкой почвы биопрепаратом Трибактерин (Эталон) продемонстрировал прибавку урожайности зерна кукурузы, равную 20,3%. Внесение органо-минеральной смеси в сравнении с трибактерином (вариант 4) повысило урожайность на 20,4%. Однако, несмотря на равную прибавку урожайности в физическом весе от данных удобрений, их экономическая эффективность различна (табл. 6). Прибавка от органических удобрений составила 4,3%. Иннокуляция гранул

минеральных удобрений микроорганизмами не привела к росту биологической урожайности кукурузы.

Таблица 3. Биологическая урожайность кукурузы (початки и зерно), ц/га  
 Table 3. Biological yield of corn (cobs and grain), kg/ha

№	Вариант	Масса початков, кг/га	Средняя масса початков, ц/га	Средняя масса зерна, ц/га
1	Контроль (схема А/х «Агро-ИР»)	7402,6	74,05	64,55
2	Эталон	8965	89,65	77,65
3	НРК+Биопорошок *	7395	73,95	65,00
4	Органо-минеральная смесь	8395	83,95	77,70
5	Органическое удобрение	7620	76,20	67,30
	НСР <sub>05</sub>	442,4 кг/га		

Формирование продуктивности кукурузы может происходить за счет различных механизмов, в частности за счет густоты растений на 1 га к моменту уборки, количества продуктивных стеблей, массы початков и др. (табл. 4).

Таблица 4. Структура урожая кукурузы в зависимости от системы удобрений  
 Table 4. Structure of corn yield depending on fertilizer system

Варианты	Кол-во стеблей, тыс. шт./га	Кол-во продуктивных стеблей, тыс. шт./га	% початков	Масса початков, ц/га	Средняя масса 1 початка, г	Масса зерна, ц/га	Выход зерна, %
Контроль (схема А/х «Агро-ИР»)	67	59	91,4	74,0	125,5	64,5	86,2
Эталон	62	60	96,8	89,6	149,4	77,6	85,9
НРК+Биопорошок	62	59	95,0	73,9	125,3	65,0	86,5
Органо-минеральная смесь	73	73	98,6	89,3	122,4	77,7	87,5
Органическое удобрение	62	57	92,0	76,2	133,7	67,3	87,7

По структуре урожая, приведенной в табл. 4, видно, что модификация системы питания может влиять на различные показатели, которые определяют конечную продуктивность кукурузы. Так, по средней массе початка лучшим вариантом оказался Эталон с максимальной массой среднего початка (149,4 г.). Максимальный выход зерна – в вариантах с использованием гранулированных органических удобрений (87,5% и 87,7%). Лучшими показателями по густоте и по доле выхода початков характеризовался вариант, в котором сочетались органические и минеральные удобрения. Несмотря на распространенность метода учета биологической урожайности полевых культур, более предпочтительным с точки зрения достоверности по причине влияния множества факторов (разнородность поля) является учет бункерной урожайности с больших площадей.

**Учет бункерной урожайности.** В процессе уборки учет бункерной урожайности проводился методом учета ширины захвата жатки и протяженности прохода комбайна до полного наполнения бункера. Масса полного бункера кукурузы на момент включения

автоматического индикатора, установленного в панели управления комбайна, составляет 5800 кг, ширина захвата жатки – 5,6 м (8 рядов по 0,7 м).

Данные табл. 5 свидетельствуют о положительном влиянии исследуемых почвоудобрительных средств, при этом бункерная урожайность отличается от биологической. Максимальный эффект был достигнут на участке поля, где проводилось предпосевное обогащение почвы биопрепаратом в сочетании с традиционной схемой минерального питания растений (Эталон). Прибавка урожайности составила 780 кг с 1 га, что в относительном выражении составляет 14,1%.

Таблица 5. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от системы удобрений  
Table 5. Corn grain yield depending on the fertilizer system

Варианты	Длина прохода до наполнения бункера, м	Ширина, м	Площадь учетной делянки, га	Масса бункера	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка, %
Контроль (схема А/х «Агро-ИР»)	1870	5,6	1,05	5800	55,2	-
Эталон	1640	5,6	0,92	5800	63,0	+14,1% (780 кг)
НРК +биопорошок	1730	5,6	0,97	5800	59,7	+8,2 (455 кг)
Органо-минеральная смесь	1735	5,6	0,97	5800	59,7	+8,2 (455 кг)
Органическое удобрение	1760	5,6	0,99	5800	58,5	+6,1% (335 кг)

Полная замена минеральных удобрений органическими гранулированными удобрениями повысила урожайность на 6,1%. В физическом весе прибавка составила 335 кг/га. Средние относительные значения прибавки урожая зерна кукурузы достигнуты в вариантах с сочетанием органических и минеральных удобрений и при обогащении гранул минеральных удобрений микроорганизмами в сухой форме. Прибавка составила по 455 кг (8,2%) (табл. 5).

При учете экономической эффективности средств биомодификации системы удобрения следует учитывать уровень затрат в соответствующих вариантах. Экономическая эффективность средств биомодификации вычислялась посредством сопоставления расходов на них и стоимости дополнительной прибавки урожая от внесенных средств.

Данные табл. 6 позволяют сделать вывод, что все использованные средства ведут к повышению эффективности производства зерна кукурузы в зависимости от варианта (6,1% до 14,1%). При этом максимальный эффект проявляется на эталонном варианте, где используется сочетание традиционных комплексных удобрений в дозе 200 кг/га с внесением в почву биопрепарата Трибактерин. 1 рубль затрат на внесение Трибактерина окупается 8 рублями дополнительной прибавки урожайности.

Таблица 6. Экономическая эффективность приемов биомодификации системы удобрения

Table 6. Economic efficiency of biomodification techniques of fertiliser system

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га, %	Затраты на систему удобрения, руб./га	Цена прибавки при 12 руб./кг	Чистая прибыль, руб./га
Контроль (схема а/х «Агро-ИР»)	55,2	-	6 200	-	-
Эталон	63,0	7,8/14,1	7 250	9360	<b>8 310</b>
НРК+биопорошок	59,7	4,5/8,2	6 600	5 460	<b>5 060</b>
Органо-минеральная смесь	59,7	4,5/8,2	5 150	5 460	<b>6 110</b>
Органическое удобрение	58,5	3,5/6,1	3 450	4 260	<b>7 010</b>

Важно отметить, что в вариантах опыта, где рост урожайности незначительный (6,1% и 8,2%), экономическая эффективность растет, так как затраты на систему удобрения меньше, чем в контрольном варианте. Это происходит за счет уменьшения доз минеральных удобрений и замещения их органическими гранулированными удобрениями. Эффективность на 1 га таких схем составляет 6 100 и 7 010 руб./га.

Учитывая, что у сельскохозяйственного производителя в начале сезона часто не хватает свободных денежных средств, могут быть рассмотрены варианты по снижению затрат на этапе сева и с меньшей прибавкой урожая, чем в варианте, где предлагается вложение дополнительных средств, но окупаемость в итоге выше. Выбор варианта зависит от финансовой ситуации предприятия.

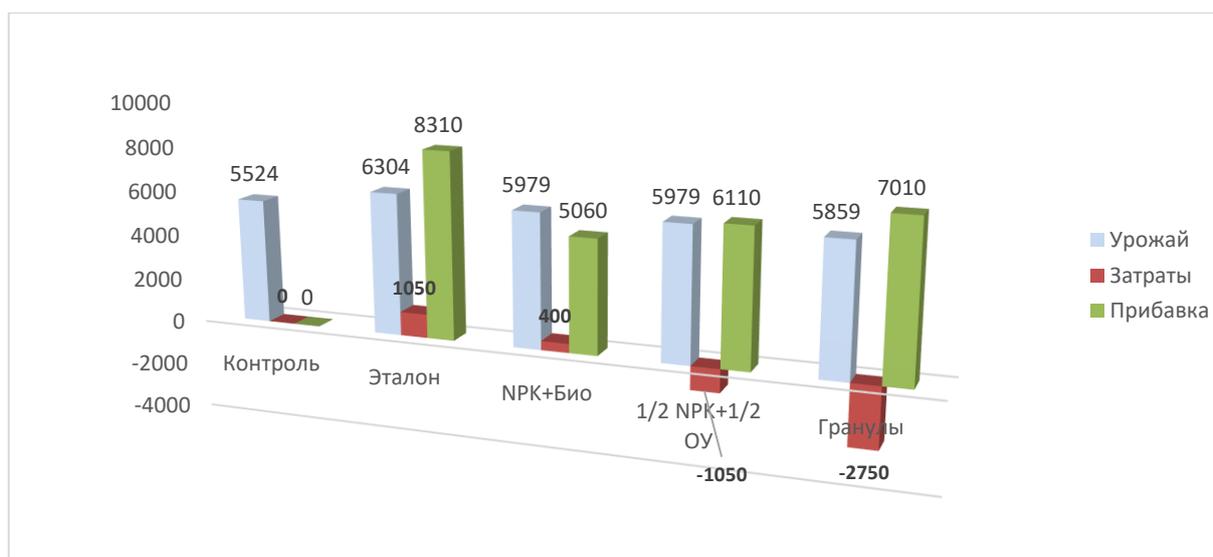


Рисунок 2. Соотношение показателей затрат и прибыли при биомодификации системы удобрения

Figure 2. Cost-benefit ratio for biomodification of fertiliser system

Из приведенной выше диаграммы (рис. 2) видно, что можно существенно минимизировать расходы (на 44%) на систему удобрения кукурузы и при этом получить (хотя и незначительную) прибавку в 6,1%. Прибыль в данном случае формируется из стоимости прибавки урожая и сэкономленных средств на минеральные удобрения. Эффективность приема оценивается в 7010 руб. на 1 га.

Максимальная прибавка урожая и, соответственно, рост прибыли приходится на эталонный вариант, но при этом требуется увеличение расходов на удобрение почвы на 17%. Экономическая эффективность равна 8310 руб. на 1 га. При производстве кукурузы на зерно важно оценивать эффективность отдельных приемов ее возделывания не только через показатели урожайности, но и по качественным параметрам. От качества зерна во многом зависит ценность комбинированных кормов, что в итоге влияет на уровень рентабельности смежных отраслей – животноводства и птицеводства.

Таблица 7. Качественные показатели зерна кукурузы  
Table 7. Quality indicators of corn grain

	Влажность, %	Зола, %	Протеин, %	Жир, %	Клетчатка, %
Контроль	11,95	1,24	8,36	2,26	2,65
Эталон	11,11	1,27	8,08	3,81	2,68
НПК и биопорошок	12,76	1,27	9,42	3,07	2,57
Органо-минеральная смесь	12,24	1,27	8,64	3,08	2,66
Органическое удобрение	12,39	1,29	8,63	2,97	2,69
НСР <sub>05</sub>	0,48	0,04	0,34	0,12	0,11

Как видно из табл. 7, наибольшим количественным изменениям при различных системах удобрения подвержены два параметра – содержание протеина и жира. Максимальное увеличение доли протеина отмечается в варианте с опудриванием гранул минеральных удобрений сухой формой микроорганизмов. При абсолютном содержании в 9,42%, относительное повышение составляет 1,06% к контролю. Равнозначное влияние отмечается при использовании гранулированных органических удобрений и при их сочетании с минеральными удобрениями. Рост доли протеина составляет 0,28%. На эталонном участке отмечается снижение доли протеина до 8,08% с 8,36% на контроле.

Наименьшее содержание жира в зерне отмечается в контрольном варианте – 2,26%. Положительный эффект по возрастанию отмечается в варианте с гранулами органических удобрений на 0,71%, в вариантах с биомодифицированными минеральными удобрениями на 0,81%, органо-минеральной смесью – 0,82%. Максимальный эффект (на 1,55%) отмечен на эталонном участке.

Проведенный корреляционный анализ демонстрирует высокую связь между урожайностью зерна кукурузы и содержанием в нём жира. Коэффициент составляет  $r = 0,994$ . Соответствующих закономерностей не обнаружено с содержанием протеина ( $r = -0,101$ ) и с содержанием клетчатки ( $r = 0,09$ ). Умеренная зависимость отмечена с содержанием золы ( $r = 0,536$ ).

**Выводы.** Результаты проведенного эксперимента свидетельствуют о значительном влиянии средств повышения биологической модификации системы удобрения на урожайность и качество зерна кукурузы, а также демонстрируют высокий уровень экономической отзывчивости. Максимальная экономическая эффективность, сформированная за счет наибольшей прибавки урожая (+14,1%), проявлена в эталонном варианте с окупаемостью затрат на биомодификацию системы удобрения 1:8. В варианте с использованием гранулированных органических удобрений экономическая эффективность (7010 руб./га) формируется за счет суммы экономии затрат и стоимости прибавки урожая.

Биологическая модификация системы удобрения сельскохозяйственных культур во многом определяет и направленность биохимических реакций в почве, что выражается в изменении параметров качества зерна – происходит повышение протеина до 12,7% и содержания жира до 68,6%.

### Список источников литературы

1. Кирюшин, В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 3. – С. 19-25.
2. Simonovich, E.I. (2008), Vliyaniye bioudobreniya «Belogor» na pochvennyuyu biotu. Materialy V syezda Vserossiyskogo obshchestva pochvovedov im. Dokuchayeva [Influence of biofertilizer «Belogor» on soil biota. Materials of the V Congress of the All-Russian Society of Soil Scientists n.a.Dokuchaev], Rostov-on-Don. P. 130.
3. Мишустин, Е.Н., Емцев, В.Т. Микробиология. – М.: Агропромиздат, 1987. – 368 с.
4. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 256 с.
5. Занилов, А.Х., Адаев, А.Н., Мууев, А.А. Агроэкологическая оценка различных систем удобрения в условиях республики Татарстан // Вестник Казанского ГАУ. – 2018. – № 4 (51). – С. 29–34.
6. Лешкенов, А.М., Занилов, А.Х. Влияние биоактивации почвы на эффективность минеральной и органоминеральной систем удобрения и продуктивность озимой пшеницы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021– № 2 (100). – С. 39–49.
7. Завьялова, Н.Е. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотофиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании. // Почвоведение. – 2020. – № 3. – С. 372–378.
8. Пиголева, С.В. Влияние ассоциативных микроорганизмов на рост и устойчивость растений к ксенобиотикам и фитопатогенам // Прикладная биохимия и микробиология. – 2020. – № 4. – С. 390–400.
9. Ушаков, Р.Н., Виноградов, Д.В., Головина, Н.А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // Агрехимический вестник. – 2013. – № 5. – С. 12–13.
10. Сирота, С.М., Надежкин, С.М., Лунков, С.В. Влияние длительного применения удобрений на гумусное состояние черноземов // Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева. – Ростов-на-Дону, 2008. – С. 87–91.

### References

1. Kiryushin V.I. (2016), 'Mineral fertilizers as a key factor in the development of agriculture and optimization of environmental management', *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, vol. 30, no. 3, pp. 19–25.
2. Simonovich E.I. (2008), 'Vliyaniye bioudobreniya "Belogor" na pochvennyuyu biotu', *Materialy V syezda Vserossiyskogo obshchestva pochvovedov im. Dokuchayeva* [Influence of

- biofertilizer «Belogor» on soil biota. Materials of the V Congress of the All-Russian Society of Soil Scientists n.a.Dokuchaev]. Rostov-on-Don, pp. 130.
3. Mishustin E.N., Emtsev V.T. Microbiology. M.: Agropromizdat, 1987, p. 368.
  4. Zvyagintsev D.G. Soil and microorganisms. M.: Publishing House of Moscow. Un-ta, 1987. p. 256.
  5. Zanirov A.H., Adaev A.N., Muuyev A.A. Agroecological assessment of various fertilizer systems in the conditions of the Republic of Tatarstan //Bulletin of the Kazan State University. No. 4 (51). 2018, pp. 29-34.
  6. Leshkenov A.M., Zanirov A.H. The effect of soil bioactivation on the effectiveness of mineral and organo-mineral fertilizer systems and productivity of winter wheat // Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 2 (100), pp. 39-49.
  7. Zavyalova N.E. Microbial biomass, respiratory activity and nitrogen fixation in the sod-podzolic soil of the Urals with various agricultural uses // Soil science. 2020. No. 3, pp. 372-378.
  8. Pigoleva S.V. Influence of associative microorganisms on plant growth and resistance to xenobiotics and phytopathogens // Applied biochemistry and microbiology. 2020. No. 4, pp. 390-400.
  9. Ushakov R.N., Vinogradov D.V., Golovina N.A. Physico-chemical block of fertility of agro-gray soil //Agrochemical bulletin. 2013. No. 5, pp. 12 –13.
  10. Sirota S. M., Reliable S. M., Lunkov S. V. The influence of long-term use of fertilizers on the humus state of chernozems //Materials of the V Congress of the All-Russian Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev. Rostov-on-Don, 2008, pp. 87-91.

#### Сведения об авторах

**Заниров Амиран Хабидович**, кандидат сельскохозяйственных наук, директор центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ им. Х.М. Бербекова. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, Россия, <https://orcid.org/0009-0002-8635-6501>, SPIN-код: 2031-5449; e-mail: amiran78@inbox.ru.

**Адаев Нурбек Ломалиевич**, доктор биологических наук, профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», Грозный, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6664-2407>, SPIN-код: 5029-3063; e-mail: mr.adaev61@mail.ru.

**Белопухов Сергей Леонидович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4473-4466>, SPIN-код: 7113-0359; e-mail: belopuhov@mail.ru.

**Улимбашев Азрет Муазинович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-2882-1866>, SPIN-код: 4293-7475; e-mail: ulimbashev\_a@mail.ru.

**Amiran X. Zanirov**, Cand. Sci. (Agric), Director of the Center for Decarbonization of Agriculture and Regional Economy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov", Nalchik, Russia, <https://orcid.org/0009-0002-8635-6501>, SPIN-code: 2031-5449; e-mail: amiran78@inbox.ru..

**Nurbek L. Adaev**, Doc. Sci. (Biol.), Professor; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kadyrov Chechen State University. <https://orcid.org/0000-0002-6664-2407>, SPIN-code: 5029-3063; e-mail: [mr.adaev61@mail.ru](mailto:mr.adaev61@mail.ru)

**Sergey L. Belopukhov**, Doc. Sci. (Agric.), Professor; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev"; <https://orcid.org/0000-0002-4473-4466>, SPIN-code: 7113-0359; e-mail: [belopuhov@mail.ru](mailto:belopuhov@mail.ru).

**Azret M. Ulimbashev**, Cand. Sci. (Agric), Docent of the Department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2882-1866>, SPIN-code: 4293-7475; e-mail: [ulimbashev\\_a@mail.ru](mailto:ulimbashev_a@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 29.09.2023; одобрена после рецензирования 08.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 29.09.2023; approved after reviewing 08.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 633.88

Код ВАК 4.1.2

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-59-65

## СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕМЕНАХ РАЗНЫХ СОРТОВ НИГЕЛЛЫ ПОСЕВНОЙ (*Nigella sativa* L.)

Салих Р.Х. Салих<sup>1</sup>✉

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

Санкт-Петербург

✉ [raad.salih@su.edu.krd](mailto:raad.salih@su.edu.krd)

**Реферат.** В настоящее время в мире актуальным направлением в изучении лекарственных свойств нетрадиционных культур является наличие в растительных образцах различных биологических активных веществ, большое внимание уделяется содержанию витаминов, аминокислот, а также минеральных элементов. Цель исследования – изучение содержания минеральных веществ в семенных образцах нигеллы посевной (*Nigella sativa* L.) сортов Местная Сирия, Шаразор, Каладес, Чваркурна и Шармн. Опыты по выращиванию проводили в пленочных теплицах Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Биохимические исследования проводили в центральной лаборатории Колледжа сельскохозяйственной инженерии, Университет Салахаддина – Эрбиль/Курдистан – Ирак. В исследованиях по изучению содержания минеральных веществ в семенах разных сортов

нигеллы посевной (*Nigella sativa* L.) изучались следующие минеральные вещества: азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, марганец, цинк, медь и железо. При анализе состава минеральных веществ отмечены различия в содержании минеральных веществ у разных сортов. Результаты исследований показали, что из макроэлементов больше азота содержит сорт Шаразор – 3,92%, фосфора и магния – сорт Местная Сирия (1,37% и 1,80% соответственно), калия – сорт Шармн (0,72%), кальция – сорт Чваркурна (1,40%), наименьшее содержание азота, фосфора и калия отмечено у сорта Чваркурна (2,25%, 0,91%, 0,61% соответственно), кальция и магния – у сорта Каладес (0,80% и 0,70% соответственно). Среди микроэлементов наибольшее содержание натрия, марганца, цинка и железа отмечено у сорта Местная Сирия (0,03%, 0,002%, 0,005%, 0,004% соответственно), содержание меди отмечено у сорта Шаразор (0,002%); натрий не обнаружен в сортах Шаразор, Каладес и Шармн, марганец – в семенах сорта нигеллы Чваркурна, медь – в сортах Каладес и Шармн.

**Ключевые слова:** нигелла посевная, *Nigella sativa* L., макроэлементы, микроэлементы, сорт, содержание минеральных веществ

**Цитирование.** Салих Р. Х. Содержание минеральных веществ в семенах разных сортов нигеллы посевной (*Nigella sativa* L.) / Р. Х. Салих // Известия Санкт-Петербургского государственного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 59–65, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-59-65 .

## MINERAL CONTENT IN SEEDS OF DIFFERENT NIGELLA SOWING VARIETIES (*Nigella sativa* L.)

Salih R.H.<sup>1</sup> ✉

Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Saint Petersburg

✉ raad.salih@su.edu.krd

**Abstract.** Nowadays, a current trend in the world in the study of the medicinal properties of non-traditional crops is the presence of various biologically active substances in plant samples and focus to the content of vitamins, amino acids, and mineral components. The aim of research was to study of the content of mineral substances in seed samples of Nigella (*Nigella sativa* L.) / Local Syria, Sharazor, Kalades, Chwarqurna and Sharmn. The experiments were carried out in film greenhouses on the experimental field of the Saint-Petersburg State Agrarian University. Biochemical studies were carried out at the Central Laboratory of the College of Agricultural Engineering, Salahaddin University – Erbil /Kurdistan-Iraq. In studies on the study of the content of mineral substances in the seeds of different varieties of Nigella (*Nigella sativa* L.), were the following minerals: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, manganese, zinc, copper and iron. Biochemical studies were carried out at the central laboratory of the college of agricultural engineering, Salahaddin University – Erbil /Kurdistan-Iraq. Analysis of the composition of mineral substances. Differences in the content of mineral substances in different varieties were noted. The results of the study showed that in the terms of macroelements, the highest content of nitrogen was noted in the variety Sharazor – 3.92%, Phosphorus and magnesium in the variety Local Syria (1.37%, 1.80%), respectively, Potassium in the variety (Sharazor, – 0.72%), calcium in the variety Chvarkurna – 1.40%, but the lowest content of nitrogen, phosphorus and potassium in the variety Chwarkurna (2.25%, 0.91%, 0.61%), respectively, calcium and magnesium in the variety Kalades (0.80%, 0.70%), respectively. In the terms of microelements, the highest content of Sodium, Manganese, Zinc and iron was noted in the variety Local Syria (0.03%, 0.0023%, 0.005%, 0.004%), respectively, copper was

noted in the variety Sharazor – 0.002%, but the lowest sodium content was noted in varieties Sharazor and Kalades – 0.000%, manganese in the variety Chvarkurna – 0.0002%, zinc in the variety Kalades and Chvarkurna – 0.003%, copper in the variety Kalades – 0.000% and iron in the variety Sharazor and Kalades – 0.002% .

**Keywords:** *Nigella (Nigella sativa L.), macro elements, microelements, variety, mineral content*

**Citation.** Salih R.H.S. (2023), 'Mineral content in seeds of different *Nigella* sowing varieties (*Nigella sativa L.*)', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2023, vol. 74, no. 5, pp. doi: .

**Введение.** Нигелла (*Nigella*) – это род растений семейства Ranunculaceae. Включает около 20 видов травянистых и однолетних растений. Некоторые из них выращиваются как декоративные растения; есть виды, которые используются в пищевой промышленности и в медицине. Самый известный вид – нигелла (*Nigella sativa*), также известная как черный тмин или чёрный кориандр. Ее семена применяются в кулинарии для придания аромата и вкуса различным блюдам, а также в традиционной медицине для лечения различных заболеваний.

Нигелла посевная (*Nigella sativa L.*) – это растение, которое обычно растет в Восточной Азии, Южной Европе и Северной Африке. Главными странами-производителями этого растения являются Египет, Индия, Пакистан, Иран и Турция, а также Центральная и Юго-Восточная Азия, Ближний Восток и Северная Америка [1].

В статье В.Н. Прохорова [2] дан краткий обзор пищевых, лекарственных и других хозяйственно-полезных свойств черного тмина. В частности, отмечается, что нигелла богата полезными веществами, включая витамины, минералы, аминокислоты и жирные кислоты. В пищевой промышленности нигелла используется в производстве масла, пряностей и добавок к пище.

С точки зрения лекарственного использования нигелла имеет противовоспалительные, антибактериальные и иммуномодулирующие свойства. Она также может помочь снизить уровень холестерина, поддержать здоровье сердца, улучшить функцию печени и почек, а также снизить симптомы аллергии. Что касается макроэлементов, то *Nigella sativa L.* является хорошим источником кальция, магния и фосфора. Эти элементы необходимы для поддержания здоровья костей и зубов, а также для оптимального функционирования мышц и нервной системы. Нигелла посевная содержит железо, медь, цинк, марганец и селен. Эти микроэлементы играют решающую роль в функционировании иммунной системы, выработке энергии, регуляции обмена веществ и защите от окислительного повреждения. Важно отметить, что количество витаминов, макро- и микроэлементов, содержащихся в *Nigella sativa L.*, может варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как сорт растения, условия выращивания и метод обработки.

В работе Е.В. Феськовой, О.С. Игнатовец, И.Н. Тычиной был изучен компонентный состав семян нигеллы посевной (*Nigella sativa L.*) четырех селекционных образцов (НП-9, НЧ-20, НФ-15, НУ-12) из коллекции Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. Методом газовой хроматографии установлено, что в липидах семян нигеллы посевной преобладают следующие элементы: фосфор – в зольном остатке он составил в среднем 6,37%; калий – 9,87%; магний – 14,39%; кальций – 37,86%; натрий – 0,25% и железо – 0,12% [3]. В статье А.А. Манагоровой [4] рассмотрены особенности макро- и микроэлементарного состава семян нигеллы посевной, нигеллы дамасской, нигеллы полевой. Из макроэлементов были обнаружены натрий, калий, магний и кальций, сумма которых

составила  $1545 \pm 47$  мг/г. Среди микроэлементов – железо, цинк, медь, марганец. Их сумма составила  $27,3 \pm 0,82$  мг/г. В статье А.Л. Исаковой [5] в содержании витаминов и минеральных веществ в семенах разных видов нигеллы выявлены следующие закономерности: анализ состава минеральных веществ, содержащихся в семенах нигеллы, показал, что среди макроэлементов преобладает фосфор, а среди микроэлементов – цинк.

Наибольшее содержание фосфора выявлено у образца НП-5 (1,68%), наименьшее – у образца НД-3 (1,30%), калия – у сорта Знахарка (0,72%) и у образца НП-2 (0,49%), кальция – у сорта Искра (0,67%) и у образца НД-4 (0,48%), магния – у образцов НД-2 (0,21%) и НП-3 (0,33%). Наибольшее содержание микроэлементов цинка отмечено у образца НП-5 (68,0 мг/кг), наименьшее – у сорта Искра (33,6 мг/кг), меди – у образца НП-5 (15,5 мг/кг) и у сорта Искра (7,32 мг/кг); железа – у образцов НД-4 (52,5 мг/кг) и НД-3 (38,2 мг/кг); марганца – у образцов НП-5 (29,4 мг/кг) и НД-5 (19,6 мг/кг).

В исследовании *M. Camlica* [6] изучена оценка роста и содержания эфирного масла одного сорта *Nigella sativa L.* (Cameli) и двух сортов *Nigella damascena L.* (Ankara и Rize) в контролируемых условиях. Наибольшее содержание калия выявлено у сорта Cameli – 310 мг/г, а наибольшее содержание кальция, магния и натрия были у сорта Rize – 128, 33, 55 и 26,10 мг/г.

Содержание минеральных веществ у сортов колебалось в интервале 177–310 мг/г для калия, 58,90–128,0 мг/г для кальция, 14,85–33,55 мг/г для магния и 16,14–26,10 мг/г для натрия.

Изучение минеральных веществ в семенах сортов образцов нигеллы, выращенных в условиях Ленинградской области, является актуальным, так как минеральный состав семян разных видов нигеллы мало изучен. Соответствующие исследования в этой области позволят более полно раскрыть лекарственный потенциал культуры.

**Цель исследования** – изучение содержания минеральных веществ в семенных образцах нигеллы посевной (*Nigella sativa L.*).

**Материалы, методы и объекты исследований.** Экспериментальная работа проводилась в пленочных теплицах Санкт-Петербургского государственного аграрного университета в 2022 г. Площадь опытной делянки составляла 1 м<sup>2</sup>, нигеллу выращивали с междурядьями 0,20 м, расстояние между растениями 15 см (35 растений на м<sup>2</sup>), в 3-кратной повторности.

Объекты исследования – 5 сортов нигеллы посевной: Местная Сирия, Шаразор, Каладес, Чваркурна и Шармн, полученные из Центра сельскохозяйственных исследований в Эрбиле (Ирак); образцы собраны в разных регионах Иракского Курдистана.

Определение содержания азота в семенах нигеллы проводили методом Кьельдаля [7], содержание макроэлементов (Ca, P, Mg, K и Na) и микроэлементов (Zn, Fe, Cu и Mn) изучали с помощью атомно-абсорбционных спектрофотометров. 1 г порошка семян нигеллы смешивали с 10 мл смеси кислот, v/v (азотная кислота, хлорная кислота, серная кислота 5:2:1); смесь нагревали до 70 °С, выпаривали до достижения объема около 0,5 мл, затем 0,5 мл остатка разбавляли в 25 мл воды в мерной колбе. Конечный раствор подвергали атомно-абсорбционному спектрометрическому анализу [8].

Данные были проанализированы с использованием процедур общих линейных моделей системы статистического анализа (SAS) [9], был проведен тест (LSD) (наименьшая значимая разница – НСР), чтобы найти различия среди сортов нигеллы при  $p = 0,01$ .

**Результаты исследований.** Анализ состава минеральных веществ, содержащихся в семенах нигеллы, показал, что в составе макроэлементов в количественном отношении преобладает азот, а в составе микроэлементов – натрия.

Наибольшее содержание азота выявлено у сорта Шаразор – 3,92%, наименьшее – у сорта Чваркурна – 2,25 %, наибольшее содержание фосфора – у сорта Местная Сирия – 1,37 %, калия – у сорта Шармн – 0,72 %, кальция – у сорта Чваркурна – 1,40%, магния – у сорта Местная Сирия – 1,80%. Наименьшее содержание азота, фосфора и калия отмечено у сорта Чваркурна (2,25%, 0,91%, 0,61% соответственно), кальция и магния у сорта Каладес (0,80%, 0,70% соответственно).

Содержание микроэлементов в семенах нигеллы посевной различалось по сортам. Наибольшее содержание микроэлементов натрия, марганца, цинка и железа отмечено у сорта Местная Сирия (0,03%, 0,002%, 0,005%, 0,004% соответственно), наибольшее содержание меди отмечено у сорта Шаразор и Чваркурна (0,002%). Натрия не отмечено в семенах сортов Шаразор, Каладес и Шармн, марганца – у сорта Чваркурна; цинк практически отсутствует у сортов Каладес и Чваркурна (0,003%), медь не найдена у сортов Каладес и Шармн. Низкое содержание железа наблюдалось у сортов Шаразор, Каладес и Шармн (0,002).

Таблица. Содержание минеральных веществ в семенах разных сортов нигеллы посевной, %  
 Table. Mineral content in seeds of different Nigella sowing varieties, %

Показатель	Местная Сирия	Шаразор	Каладес	Чваркурна	Шармн
<b>Макроэлементы</b>					
Азот (N ), %	3,13	3,92	3,62	2,25	2,64
Фосфор (P ), %	1,37	1,06	0,94	0,91	1,12
Калий (K ), %	0,68	0,67	0,63	0,61	0,72
Кальций (Ca), %	0,90	1,10	0,80	1,40	1,26
Магний (Mg ), %	1,80	1,00	0,70	0,84	0,96
<b>Микроэлементы</b>					
Натрий (Na ), %	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
Марганец (Mn ), %	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002
Цинк (Zn ), %	0,005	0,005	0,003	0,003	0,004
Медь (Cu ), %	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000
Железо (Fe), %	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002

**Вывод.** Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод о лекарственной ценности и перспективности использования образцов нигеллы посевной. На основании проведенных исследований было выявлено следующее:

1. Наиболее высокое содержание азота и меди было в семенах сорта Шаразор.
2. По содержанию фосфора, магния, натрия, марганца, цинка и железа лидировал сорт Местная Сирия.
3. Наибольшее содержание калия оказалось у сорта Шармн, кальция – у сорта Чваркурна.

По данным исследования, в Ленинградской области сорта нигеллы посевной Местная Сирия и Шаразор показали свое превосходство над остальными сортами, поэтому можно рекомендовать их для выращивания и как перспективный материал для селекции.

### Список источников литературы

1. Алекперов, Р.А. Лекарство от тысячи и одного заболевания – чернушка посевная (*Nigella sativa* L.) / Р. А. Алекперов, Н. К. Аббасов // Известия ГГТУ. Медицина, фармация. – 2020. – № 4. – С. 43–46.
2. Прохоров, В.Н. Нигелла – ценная хозяйственно-полезная культура (обзор литературы) // Овощи России. – 2021. – № 4. – С. 111–123.
3. Феськова, О.С. Определение компонентного состава семян чернушки посевной (*Nigella sativa*) / Е. В. Феськова, О. С. Игнатовец, И. Н. Тычина // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2018. – № 2(211). – С. 167–170.
4. Манагорова, А.А. Анализ макро- и микроэлементарного состава семян растений рода Чернушка (*Nigella*) и перспективы применения в производстве пищевых продуктов / А. А. Манагорова // Лучшая студенческая статья 2021 : сборник статей XXXV Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 25 февраля 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 37-41.
5. Исакова, А.Л. Содержание витаминов и минеральных веществ в семенах разных видов нигеллы / А. Л. Исакова, А. В. Исаков, В. Н. Прохоров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 85–87.
6. Camlica, M. Effect of cultural condition on seed growth and content of essential oil of two populations and one cultivar of genus *Nigella* / M. Camlica, G. Yaldız // Annals Of Phytomedicine-An International Journal, 2019, № 8(1), pp. 56–62.
7. Roussis, I. Nitrogen uptake, use efficiency, and productivity of *Nigella sativa* L. in response to fertilization and plant density / I. Roussis, I. Kakabouki, D. Beslemes, E. Tigka, C. Kosma, V. Triantafyllidis, D. Bilalis // Sustainability, 2022, № 14 (7), p. 3842.
8. Dobrowolska-Iwanek, J. Determination of essential minerals and trace elements in edible sprouts from different botanical families / J. Dobrowolska-Iwanek, Z. Pawel, G. Agnieszka, F. Maria, K. Jadwiga, S. Marek, S. R. Pol, S. C. Isabel // Application of chemometric analysis, Foods, 2022, № 11(3), 371 p.
9. SAS Statistical Analysis Systems SAS/STAT user's guide Version 9.1 Cary NC // SAS Institute Inc. USA. – 2007.

### References

1. Alekperov, R.A., Alekperov, R.A. and Abbasov, N.K. (2020), 'Cure for a thousand and one diseases – *Nigella sativa* L., *News of GGTU, Medicine, pharmacy*, no. 4, pp. 43–46.
2. Prokhorov, V.N. (2021), 'Nigella is a valuable economically useful crop (literature review)', *Vegetables of Russia*, no. 4, pp. 111–123. (In Russ.).
3. Feskova, O.S., Ignatovets, O.S. and Tychina, I.N. (2018), 'Determination of the component composition of *Nigella sativa* (*Nigella sativa*) seeds', *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology*, no. 2 (211), pp. 167–170. (In Russ.).
4. Managorova, A.A. (2021), 'Analysis of the macro- and microelement composition of seeds of plants of the genus *Nigella* (*Nigella*) and prospects for use in food production', *Best student article 2021: Collection of articles of the XXXV International Research Competition, Penza, February 25, 2021*, pp. 37–41.
5. Isakova, A.L., Isakov, A.V., and Prokhorov, V.N. (2018), The content of vitamins and minerals in the seeds of different types of nigella. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, no. 2, pp. 85–87. (In Russ.).
6. Camlica, M., and Yaldız, G. (2019), 'Effect of cultural condition on seed growth and content of essential oil of two populations and one cultivar of genus *Nigella*', *Annals Of*

- Phytomedicine-An International Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 56–62.
7. Roussis, I., Kakabouki, I., Beslemes, D., Tigka, E., Kosma, C., Triantafyllidis, V., and Bilalis, D. (2022), 'Nitrogen uptake, use efficiency, and productivity of *Nigella sativa* L. in response to fertilization and plant density', *Sustainability*, no. 14 (7), p. 3842.
  8. Dobrowolska-Iwanek, J., Pawel, Z., Agnieszka, G., Maria, F., Jadwiga, K., Marek, S., Pol, S. R., and Isabel, S. C. (2022), 'Determination of essential minerals and trace elements in edible sprouts from different botanical families', *Application of chemometric analysis, Foods*, no. 11 (3), 371 p.
  9. SAS (2007), Statistical Analysis Systems SAS/STAT user's guide Version 9.1 Cary NC: SAS Institute Inc. USA.

### Сведения об авторе

**Салих Раад Хуссейн Салих**, аспирант кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0009-0006-2775-1367>; e-mail: raad.salih@su.edu.krd.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Information about the author

**Salih Raad Hussein Salih**, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0009-0006-2775-1367>; e-mail: raad.salih@su.edu.krd.

**Conflict of interest.** Author declares no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 03.10.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted to the editorial office 03.10.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.*

Научная статья

УДК 633.88

Код ВАК 4.1.2

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-65-71

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ (HPLC) ЖИРОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ НИГЕЛЛЫ ПОСЕВНОЙ (*Nigella sativa* L.)

Г.С. Осипова<sup>1</sup> ✉, Р.Х. Салих<sup>1</sup>

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

**Реферат.** Нигелла посевная (*Nigella sativa* L.) из семейства лютиковых является одним из важнейших лекарственных растений, она используется в народной медицине для лечения различных болезней, таких как рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет, астма, заболевания почек. Семена и масло нигеллы обладают полезными свойствами, широко применяются как в сельском хозяйстве, так и в пищевой промышленности, косметологии,

парфюмерии и медицине. Ценность нигеллы – в высоком содержании жирорастворимых витаминов в семенах. В исследованиях ряда авторов отмечено различие в содержании жирорастворимых витаминов в зависимости от сортов и условий выращивания. В данном исследовании проведен сравнительный анализ содержания жирорастворимых витаминов в семенах нигеллы посевной сортов Местная Сирия, Шаразор, Каладес, Чваркурна и Шармн. Семена нигеллы посевной получены из Центра сельскохозяйственных исследований в Эрбиле (Ирак). Изучение химического состава, а также содержания витаминов в семенах нигеллы посевной проводили в Университете Салахаддина-Эрбиль Курдистан (Ирак), в центральной лаборатории Колледжа сельскохозяйственной инженерии. По результатам исследований в семенах сортов нигеллы были идентифицированы следующие витамины: токоферол (E), кальциферол (D), филлохинон (K) и ретинол (A). Из представленных витаминов отмечено наибольшее содержание токоферола, которое варьировало в семенных образцах нигеллы посевной от 451,8 мг/100 г у сорта Шармн до 470,5 мг/100 г у сорта Каладес; содержание кальциферола – от 395,5 мг/100 г у сорта Шармн до 433,6 мг/100 г у сорта Каладес; содержание филлохинона – от 138,5 мг/100 г у сорта Шармн до 148,9 мг/100 г у сорта Каладес; содержание ретинола – от 98,50 мг/100 г у сорта Шармн до 111,50 мг/100 г у сорта Каладес.

**Ключевые слова:** *Нигелла посевная (Nigella sativa L.), сорта, содержание витаминов, жирорастворимые витамины E, D, K, A*

**Цитирование.** Осипова Г.С., Салих Р.Х. Высокоэффективная жидкостная хроматография при анализе (HPLC) жирорастворимых витаминов у различных сортов нигеллы посевной (*Nigella sativa L.*) // Известия Санкт-Петербургского государственного университета. – 2023. – № 4 (73). С. 65-71, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-65-71.

### HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY ANALYSIS (HPLC) OF FAT-SOLUBLE VITAMINS FROM DIFFERENT *NIGELLA SATIVA L.* VARIETIES

G.S. Osipova <sup>1</sup> ✉, R.H. Salih <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
St. Petersburg, Russia  
✉ prof.osipova@mail.ru

**Abstract.** *Nigella sativa L.*, an important genus of the (*Ranunculaceae*) family, is one of the most important medicinal plants used in folk medicine for centuries to treat various diseases such as cancer, cardiovascular complications, diabetes, asthma, kidney disease. In this crop, much attention is paid to the content of vitamins, amino acids, and mineral components. Seeds and oil of nigella species have various useful properties, and also have a wide range of applications both in agriculture and in the food industry, cosmetology, perfumery, etc. The value of nigella, in the high content of fat-soluble vitamins in the seeds. In the studies of a number of authors, a difference was noted in the content of fat-soluble vitamins, depending on the varieties and growing conditions. In the studies, a comparative assessment of the content of vitamins in the seeds of *Nigella sativa*. A comparative analysis of the content of fat-soluble vitamins in the seeds of *Nigella sativa* in the varieties Local Syria, Sharazor, Kalades, Chvarkurna and Sharmn was carried out. Black cumin seeds are provided from the Agricultural Research Center in Erbil (Iraq). The aim of the study is to study the vitamin profile in seed samples of *Nigella sativa*. The study of the chemical composition, as well as the vitamin profile

of the seeds of *Nigella sativa*, was carried out by scientists from the University of Salahaddin-Erbil / Kurdistan-Iraq, in the central laboratory of the College of Agricultural Engineering. According to the results, the following vitamins were identified in the seeds of *Nigella* varieties: vitamins: tocopherol (E), calciferol (D), phyloquinone (K) and retinol (A). Of the vitamins presented, the highest content of tocopherol was noted, which varied in seed samples of *Nigella sativum* from 451.8 mg/100 g in the sharmn variety, to 470.5 mg/100 g in the kalades variety, calciferol content from 395.5 mg/100 g – for the sharmn variety, up to 433.6 mg/100 g – for the Kalades variety, phyloquinone content from 138.5 mg/100 g – for the sharmn variety, up to 148.9 mg/100 g – for the Kalades variety, retinol content from 98.50 mg/100 g – for the sharmn variety, up to 111.50 mg/100 g – for the Kalades variety.

**Keywords:** *Nigella sativa* L., varieties, vitamin content, fat-soluble vitamins E, D, K, A

**Citation.** Osipova G.S., and Salih R.H. (2023), "High-performance liquid chromatography analysis (HPLC) of fat-soluble vitamins from different *Nigella sativa* L. varieties, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, № 5, pp. 65–71, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-65-71.

**Введение.** Нигелла посевная (*Nigella sativa* L.) – это однолетнее травянистое растение светло-зеленого цвета, слегка сизое, широко распространенное в разных странах мира. Род Нигелла (*Nigella*) принадлежит к семейству лютиковых (*Ranunculaceae*), который насчитывает около 25 видов, распространенных в Западной Европе, Северной Африке и Западной Азии [1]. Родиной этого вида являются Египет и Восточное Средиземноморье, он широко выращивается в Иране, Японии, Китае и Турции. Как экспортная культура производится в Индии, Шри-Ланке, Бангладеше, Афганистане, Пакистане, Египте, Иране, Ираке, Сирии и Турции [2].

В работах Карна S.K. отмечается высокое содержание в семенах нигеллы белка – 26,7%, 28,5% жира, 24,9% углеводов, 8,4% сырой клетчатки, 4,8% общей золы, 0,5–1,6% эфирного масла, 35,6–41,5% жирного масла [3], 6,8–7,4% клетчатки, 8,1–11,6% и влаги [4]. Исследования А.Л. Исаковой и других авторов показали, что семена нигеллы богаты следующими витаминами: ретинол А, тиамин В<sub>1</sub>, рибофлавин В<sub>2</sub>, фолиевая кислота В<sub>9</sub> и аскорбиновая кислота С [5], а также минералами: Са, К, Se, Cu, Р, Zn и Fe, содержание витаминов и минеральных веществ зависит от вида нигеллы [6].

История применения нигеллы в народной медицине насчитывает три тысячи лет [7]. Традиционно нигелла применялась в качестве средства для лечения различных видов расстройств, возникающих в дыхательной системе, пищеварительном тракте, сердечно-сосудистой системе, почках, печени и иммунной системе. Нигелла используется для стерилизации и местной анестезии [3].

Лекарственные свойства семян нигеллы в значительной мере зависят от наличия в семенах ценных витаминов. К жирорастворимым относятся следующие витамины: А, D, Е и К.

Витамин А принимает участие в реакциях светоощущения, участвует в образовании сложного белка родопсина (основного зрительного пигмента глаза), который состоит из белка опсина и витамина А (ретинола). Витамин А влияет на рост и развитие организма, формирование скелета, повышает устойчивость к инфекциям, отмечено также мощное

противораковое действие каротиноида ликопина. Недостаток витамина А проявляется изменениями органов зрения, кожи и слизистой оболочки глаз, дыхательной и пищеварительной систем, могут наблюдаться задержки роста у детей, нарушения функций нервной системы, органов дыхания, усиливается восприимчивость к инфекциям, снижается острота зрения в условиях слабого освещения (гемералопия – куриная слепота), ухудшается состояние кожи и волос [8]. В свободном виде витамин содержится в рыбьем жире до 25000 мг/100 г, говяжьей печени – 8000 мг/100 г, в моркови – до 2000 мг/100 г, яйце – 950 мг/100 г, в шпинате – 750 мг/100 г, перце сладком – 250 мг/100 г, в брокколи – 220 мг/100 г [9].

Витамин D (антирахитический, кальциферол) влияет на всасывание кальция из кишечника в кровь. Витамин D индуцирует синтез в стенке кишечника белка – переносчика, транспортирующего кальций через мембраны ворсинок кишечника в кровь. Витамины группы D являются производными стероидов. Известно более 10 производных стероидов, обладающих активностью витамина D. Недостаток витаминов группы D приводит к возникновению рахита у детей, остеомалации (ломкости костей) у взрослых и остеопороза у пожилых людей. Витаминов группы D много в рыбьем жире, рыбе, яичном желтке, грибах, молочных продуктах, в кукурузе в фазе молочной спелости, облепихе [9].

Витамин E (антистерильный, токоферол) представляет собой группу веществ, которые являются производными хромана и называются токоферолами. В настоящее время известно 7 токоферолов, но в природе широко распространены альфа-, бета- и гамма- токоферолы. Наивысшей биологической активностью обладает альфа-токоферол [9]. Витамины группы E действуют в организме как биокатализаторы, играют роль антиокислителей по отношению к определенным жирным кислотам, витамину А и каротинам. Токоферол влияет на процесс клеточного дыхания, тесно связан с активностью ферментов, содержащих серу. Защищает клеточные мембраны, мембраны митохондрий, рибосом и ядра, обладает антиоксидантными свойствами, роль которых велика в предупреждении старения организма. Витамин E влияет на функцию половых клеток, необходим для нормального течения беременности. Недостаток витамина E вызывает бесплодие. Витамины группы E относят к числу устойчивых и широко распространенных в природе соединений. Наиболее богаты витамином E масло фундука – 47–50 мг/100 г, подсолнечное – 40–43 мг/100 г, хлопковое – 35 мг/100 г, в листьях базилика содержание витамина E – 10–11 мг/100 г, а в соевом масле – 2,5 мг/100 г [9].

Витамин K (антигеморрагический, филлохинон). Витамин K существует в нескольких формах: K<sub>1</sub> – филлохинон и K<sub>2</sub> – мезохинон. Витамин K необходим для синтеза в печени некоторых белков ферментных систем, необходимых для свертывания крови. Витамин K<sub>1</sub> участвует в переносе электронов в дыхательной цепи и окислительном фосфорилировании [9]. При недостатке витамина K снижается скорость свертываемости крови, возникает анемия, ухудшается общее состояние, выпадают волосы. Высоко содержание витамина K в зеленых овощах: петрушка – 1440 мг/100 г, кресс-салат – 540 мг/100 г, базилик – 414 мг/100 г, шпинат – 482 мг/100 г; сравним с маслами: оливковое – 60 мг/100 г, хлопковое – 24 мг/100 г, подсолнечное – 5,4 мг/100 г.

**Цель исследования** – определение содержания витаминов в семенах 5 сортов нигеллы посевной.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Объекты исследования – 5 сортов нигеллы посевной: Местная Сирия, Шаразор, Каладес, Чваркурна и Шармн, полученные из Центра сельскохозяйственных исследований в Эрбиле (Ирак), собранные в разных регионах Иракского Курдистана.

Экстракция витаминов проводилась с использованием 0,1% раствора бутилгидрокситолуола в метаноле. К 0,5 г образца добавляли 5 мл раствора, выдерживали в темноте в течение 2 ч. в плотно закрытом сосуде и затем перемешивали в течение 20 мин. при комнатной температуре. Образцы центрифугировали перед введением в колонку и по прошествии 1 часа анализировали.

Для определения жирорастворимых витаминов использовали модель HPLC SYCAM (Германия). Для анализа использовали дополнительное определение витаминов. Подвижная фаза – изократный ацетонитрил: D.W: (75:25) при скорости потока 0,8 мл/мин, колонка C18-ODS (25 см \* 4,6 мм) и детектор UV-280 [10].

Все данные были проанализированы с использованием процедур общих линейных моделей системы статистического анализа (SAS). Новый множественный тест Дункана был использован для проверки различий средних при ( $P < 0,01$ ). Разные буквы в таблице относятся к существенным различиям между ними, тогда как одинаковые буквы относятся к несущественным различиям между ними [11].

**Результаты исследований.** По содержанию витамина Е выделился сорт Каладес – 470,5 мг/100 г, близкие результаты у сортов Местная Сирия – 460,10 мг/100 г и Чваркурна – 463 мг/100 г, ниже содержание витамина Е у сорта Шаразор – 456 мг/100 г и сорта Шармн – 432,8 мг/100 г.

Более высоким содержанием витамина D отличился сорт Каладес – 433,6 мг/100 г, близкие показатели у сорта Чваркурна – 439,8 мг/100 г, ниже – у сортов Местная Сирия – 421,1 мг/100 г и Шаразор – 411,40 мг/100 г, самый низкий показатель у сорта Шармн – 395,50 мг/100 г.

Высокое содержание витамина К у сорта Каладес – 148,9 мг/100 г, несколько ниже у сорта Чваркурна – 145,2 мг/100 г и сорта Местная Сирия – 143,6 мг/100 г, низкое содержание у сортов Шаразор – 140,5 мг/100 г и Шармн – 138,50 мг/100 г.

Содержание витамина А колебалось от 111,50 мг/100 г у сорта Каладес до 98,5 мг/100 г у сорта Шармн, близкие показатели к сорту Каладес у сорта Чвакурна – 108,9 мг/100 г, ниже у сортов Местная Сирия – 106,9 мг/100 г и Шаразор – 102,60 мг/100 г (таблица).

Таблица. Содержание витаминов в семенах нигеллы посевной в зависимости от сорта, мг/100 г  
 Table. The content of vitamins in black cumin seeds, depending on the variety, mg/100 g

Показатели	Сорт				
	Местная Сирия	Шаразор	Каладес	Чваркурна	Шармн
Витамин Е	460,10 с	456,00 д	470,50 а	463,00 б	451,80 е
Витамин D	421,10 с	411,40 д	433,60 а	429,80 б	395,50 е
Витамин К	143,60 с	140,50 д	148,90 а	145,20 б	138,50 е
Витамин А	106,90 с	102,60 д	111,50 а	108,90 б	98,50 е

**Вывод.** Содержание витаминов в семенах нигеллы посевной варьирует в зависимости от сорта. Высоким содержанием витаминов Е, D, К и А отличился сорт Каладес. Близкие показатели у сорта Чваркурна. Низкое содержание витаминов у сорта Шармн.

**Список источников литературы**

1. Прохоров, В.Н. Нигелла – ценная хозяйственно-полезная культура (обзор литературы) // Овощи России. – 2021. – № 4. – С. 111–123.
2. Samima, S. Effect of date of sowing on productivity of Black Cumin / S. Samima, D. Bhabani, B. C. Rudra, D. Ganesh, M. A. Banaz // *Annals of Horticulture*, 2017, № 10(2), pp. 172–175, doi: 10.5958/0976-4623.2017.00029.9.
3. Karna, S.K.L. Phytochemical screening and gas chromatography mass spectrometry and analysis of seed extract of *Nigella sativa* // *Linn. Int. J. Chem. Studies*, 2013, № 1(4), pp. 183–188.
4. Heshmati, J. Effects of black seed (*Nigella sativa*) on metabolic parameters in diabetes mellitus: A systematic review / J. Heshmati, N Namazi // *Complementary therapies in medicine*, 2015, № 23(2), pp. 275–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctim.2015.01.013>.
5. Исакова, А.Л. Содержание витаминов и минеральных веществ в семенах разных видов нигеллы / А. Л. Исакова, А. В. Исаков, В. Н. Прохоров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 85–87.
6. Islam, M.T. Nigellalogy: a review on *Nigella sativa* / M. T. Islam, B. Guha, S. Hosen, T. A. Riaz, S. Shahadat, L. D. R. Sousa, A. L. Braga // *MOJ Bioequiv Availab*, 2017, № 3 (6), pp. 00056, doi: 10.15406/mojbb.2017.03.00056.
7. Исакова, А.Л. Изучение аминокислотного состава семян нигеллы (*Nigella L.*) / А. Л. Исакова, В. Н. Прохоров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 73–75.
8. Лифляндский, В.Г. Овощи в лечении, косметике, кулинарии / В. Г. Лифляндский, А. Г. Сушанский. – СПб. – 2001. – 380 с.
9. Березов, Т.Т. Биологическая химия : учебник // Т. Т. Березов, Б. Ф. Коровкиз. – 3 изд., перераб и доп. – М.: Медицина, 2012. – 704 с.
10. Mateeva, A. Simultaneous analysis of water-soluble and fat-soluble vitamins through RP-HPLC/DAD in food supplements and brewer's yeast / A. Mateeva, M. Kondeva-Burdina, L. Peikova, S. Guncheva, A. Zlatkov, M. Georgieva // *Heliyon*, 2023, № 9 (1). – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12706>.
11. Salih, R.H. Effect of sowing dates and two chickpea cultivars on some growth parameters and yield / R. H. Salih, S. A. Abdullah, B. I Mohammed // *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 2018, № 30(4), pp. 49–57. <http://dx.doi.org/10.21271/ZJPAS.30.4.5>.

### References

1. Prokhorov, V.N. (2021), *Nigella* is a valuable economically useful crop (literature review // *Vegetables of Russia*), no. 4, pp.111–123. (In Russ.).
2. Samima, S., Bhabani, D., Rudra, B. C., Ganesh, D., and Banaz, M. A. (2017). Effect of date of sowing on productivity of Black Cumin; *Annals of Horticulture*, vol. 10, no. 2, pp. 172–175, doi: 10.5958/0976-4623.2017.00029.9.
3. Karna, S.K.L. (2013). Phytochemical screening and gas chromatography mass spectrometry and analysis of seed extract of *Nigella sativa*; *Linn. Int J Chem Studies*, vol. 1, no. 4, pp. 183–188.
4. Heshmati, J., and Namazi, N. (2015); Effects of black seed (*Nigella sativa*) on metabolic parameters in diabetes mellitus: A systematic review; *Complementary therapies in medicine*, vol. 23, no. 2, pp. 275–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctim.2015.01.013>.
5. Isakova, A.L., Isakov, A.V., and Prokhorov V.N. (2018); The content of vitamins and minerals in the seeds of different types of *nigella*; *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, no. 2, pp. 85–87. (In Russ.).
6. Islam, M.T., Guha, B., Hosen, S., Riaz, T.A., Shahadat, S., Sousa, L.D.R., and Braga, A.L. (2017). Nigellalogy: a review on *Nigella sativa*, *MOJ Bioequiv Availab*, vol. 3, no. 6, pp. 00056, doi: 10.15406/mojbb.2017.03.00056.
7. Isakova, A.L., and Prokhorov, V.N. (2018); Study of the amino acid composition of seeds of

- nigella (Nigella L.); *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, no. 2, pp. 73–75.
8. Lifyandsky, V.G., and Sushansky, A.G. (2001), *Vegetables in treatment, cosmetics, cooking*. St. Petersburg, 380 p. (In Russ.).
  9. Berezov, T.T., and Korovkiz, B.F. (2012), *Biological chemistry. textbook*, – M.: Medicine, 704 p. (In Russ.).
  10. Mateeva, A., Kondeva-Burdina, M., Peikova, L., Guncheva, S., Zlatkov, A., and Georgieva, M. (2023); Simultaneous analysis of water-soluble and fat-soluble vitamins through RP-HPLC/DAD in food supplements and brewer's yeast; *Heliyon*, vol. 9, no. 1. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12706>.
  11. Salih, R.H., Abdullah, S.A., and Mohammed, B.I. (2018); Effect of sowing dates and two chickpea cultivars on some growth parameters and yield; *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 30, no. 4, pp. 49–57, <http://dx.doi.org/10.21271/ZJPAS.30.4.5>.

#### Сведения об авторах

**Осипова Галина Степановна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, <https://orcid.org/0000-0002-5433-4482>, SPIN-код 3655-6388; e-mail: [prof.osipova@mail.ru](mailto:prof.osipova@mail.ru).

**Салих Раад Хуссейн Салих**, аспирант кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, <https://orcid.org/0009-0006-2775-1367>; e-mail: [raad.salih@su.edu.krd](mailto:raad.salih@su.edu.krd).

#### Information about the authors

**Galina S. Osipova**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Professor of the Department of Horticulture and Ornamental Gardening, Federal State Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Saint-Petersburg, <https://orcid.org/0000-0002-5433-4482>, SPIN-код 3655-6388; e-mail: [prof.osipova@mail.ru](mailto:prof.osipova@mail.ru).

**Salih R.H. Salih**, postgraduate student of the Department of Horticulture and Ornamental Gardening, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", St. Petersburg, <https://orcid.org/0009-0006-2775-1367>; e-mail: [raad.salih@su.edu.krd](mailto:raad.salih@su.edu.krd).

**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 03.06.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted 03.06.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.*

Научная статья

УДК 631.859

Код ВАК 4.1.3

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-72-80

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ОБЕСФТОРЕННОГО ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ  
В ПРЯМОМ ДЕЙСТВИИ****П.В. Агапова<sup>1</sup>, М.В. Киселёв<sup>1</sup> ✉, И.А. Фрейдкин<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

Санкт-Петербург, Россия

✉ kiselev@spbgau.ru

**Реферат.** Производство экстракционной фосфорной кислоты – важная отрасль переработки фторапатитов, необходимая химической, пищевой, сельскохозяйственной промышленности. В ходе этого производства образуется около 15 млн тонн в год отходов фосфогипса. Фосфогипс может использоваться как мелиорант и удобрение в сельском хозяйстве, но имеет ряд негативных свойств, ограничивающих его использование. Такими негативными факторами с точки зрения экологической безопасности является высокая кислотность (1,5 – 3,0 рН), содержание в продукте стронция, фтора, тяжелых металлов (мышьяка, кадмия, свинца и других). С помощью технологии детоксикации фосфогипса с использованием высокоактивного химического агента удалось получить обесфторенный фосфогипс (ОФ), который можно применять как фосфорное удобрение. В данной работе была поставлена цель определить эффективность ОФ как фосфорного удобрения в различных дозах при возделывании рапса. Научные изыскания проводили путем закладки вегетационного опыта на базе ФГБОУ ВО СПбГАУ на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой. По результатам исследований были сделаны следующие выводы: применение обесфторенного фосфогипса положительно влияет на линейный рост и развитие рапса ярового (*Brassica napus L.*). Наиболее эффективными оказались дозы «Фон + ОФ (0,10 г д.в./кг почвы)» и «Фон + ОФ (0,15 г д.в./кг почвы)», где д. в. – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Для варианта «Фон + ОФ (0,15 г д.в./кг почвы)» прибавка в зеленой массе составила + 27,6% и + 32,3% сухого вещества по сравнению с удобрением «Азофоской», соответственно. Все варианты с ОФ дали прибавку по отношению к фоновому варианту: в абсолютном выражении (+ 10,0 – 17,9 см) и по относительной прибавке (+ 18,1 – 32,4%) в росте. Из вышеперечисленного следует вывод, что обесфторенный фосфогипс может быть использован в качестве многокомпонентного минерального удобрения при обязательном дополнительном исследовании влияния содержащихся в нём стронция и других тяжелых металлов в системе «почва-растение».

**Ключевые слова:** *фосфорные удобрения, детоксикация отходов производства, рециклинг отходов производства, фосфогипс, эффективность применения удобрений*

**Цитирование.** Агапова П.В., Киселёв М.В., Фрейдкин И.А. Оценка биологической эффективности применения обесфторенного фосфогипса в качестве удобрения в прямом действии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – № 5 (74). – С. 72–80, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-72-80.

**ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF USING DEFLUORINATED PHOSPHOGYPSUM AS A DIRECT FERTILIZER**

**P.V. Agapova<sup>1</sup>, M.V. Kiselev<sup>1</sup> ✉, I.A. Freidkin<sup>1</sup>**

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

✉ kiselev@spbgau.ru

**Abstract.** The production of wet-process phosphoric acid is an important branch of fluorapatite processing, necessary for the chemical, food, and agricultural industries. This production generates about 15 million tons of phosphogypsum waste per year. Phosphogypsum can be used as an ameliorant and fertilizer in agriculture, but it has a number of negative properties that limit its use. Such negative factors from the point of view of environmental safety are high acidity (1.5 – 3.0 pH), the content of strontium and fluorine-heavy metals (arsenic, cadmium, lead and others) in the product. Using phosphogypsum detoxification technology using a highly active chemical agent, it was possible to obtain defluorinated phosphogypsum (DP), which can be used as a phosphorus fertilizer. In this work, the goal was to determine the effectiveness of DP as a phosphorus fertilizer in various doses when cultivating rapeseed. Scientific research was carried out by laying out a vegetation experiment on the basis of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of St. Petersburg State University at the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L.N. Alexandrova. Based on the research results, the following conclusions were made: the use of defluorinated phosphogypsum has a positive effect on the linear growth and development of spring rape (*Brassica napus L.*). The most effective doses were “Background + DP (0.10 g a.s./kg soil)” and “Background + DP (0.15 g a.s./kg soil)”, where a.s. – For the “Background + RP (0.15 g a.i./kg soil)” option, the increase in green mass was + 27.6% and + 32.3% in dry matter in relation to “Azofoska”, respectively. All variants with fluorine-free phosphate (FFP) gave an increase in relation to the background variant: in absolute terms (+10.0 – 17.9 cm) and defluorinated phosphogypsum (DP) in relative terms (+ 18.1 t – 32.4%) in height. Based on the above, it follows that defluorinated phosphogypsum can be used as a multicomponent mineral fertilizer, with mandatory additional research into the influence of strontium and other heavy metals it contains in the soil-plant system.

**Keywords:** *phosphorus fertilizers, production waste detoxification, production waste recycling, phosphogypsum*

**Citation.** Agapova P.V., Kiselev, M.V., Freidkin, I.A. (2023), "Assessment of the biological effectiveness of using defluorinated phosphogypsum as a direct fertilizer", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 72–80. (In Russia). doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-72-80.

**Введение.** Производство экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) – важная отрасль переработки природных фторапатитов [1]. Основным отходом производства ЭФК является фосфогипс [2]. Фосфогипс может эффективно применяться в сельском хозяйстве как фосфорное удобрение с длительным последствием [3, 4, 5, 6, 7], но имеет ряд негативных характеристик: высокую кислотность (1,5–3,0 pH), содержание в продукте тяжелых металлов, главным образом стронция, а также фтора [8, 9, 10].

Существует множество разработанных технологий по превращению отхода в недорогой, безопасный и эффективный мелиорант [11, 12, 13]. Однако его утилизация в РФ не превышает 2% [14], что определяет актуальность разработки новых решений для рационального использования фосфогипса.

Одним из наиболее эффективных и экономически выгодных методов нейтрализации фосфогипса является применение метода детоксикации с помощью высокоэффективного химического агента (ВКА), разработанного ООО «Никель» [15, 16]. Полученный продукт

носит название обесфторенного фосфогипса (ОФ) и обладает гораздо более благоприятными характеристиками для применения в сельском хозяйстве.

Исследуемое удобрение обесфторенный фосфогипс апробируется в агрохимической практике впервые. Проведенные исследования в рамках более крупной НИР относятся к приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий [17] и приведены в прогнозе научно-технического развития РФ на период по 2030 г. [18].

**Цель исследования** – оценка биологической эффективности обесфторенного фосфогипса в прямом действии в ходе вегетационного опыта. Исследования проводились с мая 2021 г. по сентябрь 2021 г. в лабораториях и вегетационном домике ФГБОУ ВО СПбГАУ на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой. В качестве объекта исследования в первый год эксперимента использовался рапс яровой.

Ставились следующие задачи:

1. Определить биологическую эффективность при использовании ОФ в качестве удобрения при выращивании рапса ярового в вегетационном опыте.
2. Определить наиболее эффективную дозу ОФ как удобрения при выращивании рапса ярового в вегетационном опыте.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Обесфторенный фосфогипс, применяемый в данном исследовании, был получен в ходе производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) из Кольских фторапатитов.

Опыты проводились по общепринятым методикам – Доспехова Б.А. [19], Журбицкого З.И. [20], Юдина Ф.А. [21]. Статистическая обработка данных произведена методом дисперсионного анализа по следующим показателям: вес растений (урожайность), высота растений.

Схема опыта: 1. Фон –  $N_{0,15} K_{0,15}$ . 2. Вариант сравнения – азофоска  $N_{0,15} P_{0,15} K_{0,15}$  (далее «азофоска»). 3. Фон + ОФ ( $P_{0,10}$ ) (далее «фон+ОФ1»). 4. Фон + ОФ ( $P_{0,15}$ ) (далее «фон+ОФ2»). 5. Фон + ОФ ( $P_{0,20}$ ) (далее «фон+ОФ3»).

В качестве фонового удобрения использовали аммиачную селитру и сульфат калия;  $N_{0,15}$  – здесь и далее индекс обозначает дозу в граммах действующего вещества на 1 кг почвы (г д.в./кг почвы).

Исходные данные для расчета доз нейтрализованного обесфторенного фосфогипса в схеме вегетационного опыта были получены из результатов исследований в ФБУ «ЦЛТИ» («Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу») (табл. 1).

В дополнение к вышеупомянутым компонентам в состав фосфогипса входят микропримеси As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Zr, Y на уровне 0,1–100 ppm, присутствующие в виде двойных и смешанных солей, а также сульфатов, фосфатов, силикатов и фторидов. Эффективная удельная активность радионуклидов гораздо ниже нормативной –  $A_{эфф} < 740$ . Данные значения соответствуют ГОСТ Р 58820-2020 «Фосфогипс для сельского хозяйства. Технические условия» по всем показателям.

Таблица 1. Содержание макроэлементов в обезфторенном фосфогипсе  
 Table 1. Macroelements content in defluorinated phosphogypsum

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Результаты измерений
Валовое содержание			
1	Калий, К	мг/кг	340
2	Кальций, Са	мг/кг	220000
3	Магний, Mg	мг/кг	690
4	Фосфор, Р	мг/кг	3600
5	К <sub>2</sub> О (в пересчете из мг/кг содержания валового калия)	%	0,041
6	Кальций, Са (в пересчете из мг/кг содержания валового кальция)	%	22
7	Магний, Mg (в пересчете из мг/кг содержания валового магния)	%	0,069
8	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> (в пересчете из мг/кг содержания валового фосфора)	%	0,862
Водорастворимая форма			
9	Калий, К	мг/кг	160
10	К <sub>2</sub> О (в пересчете из мг/кг содержания водорастворимого калия)	%	0,019
11	Фосфор, Р	мг/кг	93
12	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> (в пересчете из мг/кг содержания водорастворимого фосфора)	%	0,0213
13	Эффективная удельная активность радионуклидов	Бк/кг	63,2

В качестве основного показателя был выбран фосфор, так как этот макроэлемент находится в фосфогипсе в наибольшем количестве (0,826%). Учитывалась доля фосфора в водорастворимой (биогенной) форме. Брали и немного завышенные дозы в схеме опыта ввиду того, что лишь малая часть фосфора (0,0213%) находится в водорастворимой (доступной для растений) форме. Более того, нейтрализованный фосфогипс вносился непосредственно перед опытом, поэтому механизм перевода фосфора из малорастворимых соединений в подвижную форму не мог начать действовать. Р<sub>0,10</sub> – 12,5 г ОФ на 1 кг почвы или 62,5 г на 5 кг сосуда; Р<sub>0,15</sub> – 18,8 грамм ОФ на 1 кг почвы или 94 г на 5 кг сосуда; Р<sub>0,20</sub> – 37,6 г ОФ на 1 кг почвы или 125 г на 5 кг сосуда.

Повторность в опытах трехкратная, количество параллельных вариантов n = 3. Размещение вариантов систематическое. Опыт был продолжен в 2022 г. для изучения ОФ в последствии.

Для закладки вегетационного опыта брали слабокультуренную дерново-подзолистую почву, типичную для зоны Ленинградской области, которая характеризовалась следующими показателями плодородия [22]: среднесуглинистым гранулометрическим составом, средним содержанием гумуса (3,3%) – ГОСТ 26213-21, средним содержанием подвижного фосфора (98,5 млн<sup>-1</sup>) – ГОСТ Р 54650-2011, низким содержанием подвижного калия (51,5 млн<sup>-1</sup>) – ГОСТ Р 54650-2011 и близкой к нейтральной реакции среде (рН<sub>КСГ</sub>-5,7) – ГОСТ 26483-85. В опыте использовали сосуды Кирсанова. Количество почвы для сосуда – 5500 г.

Объектом исследования являлся рапс яровой (лат. Brassica napus) сорта Фаворит. Норма высева семян – 25 шт/сосуд (из расчета квадратно-гнездового метода посева) на глубину 0,5

см. После всходов уравнивали посеы до 14 растений на сосуд.

При проведении вегетационного опыта собирали следующие биометрические данные: 1) высоту растений на 15, 25, 35, 50 и 65-й день после посева; 2) урожайность биомассы по зеленой массе и сухому веществу.

**Результаты исследования.** В ходе вегетационного опыта проводили фиксацию биометрических данных по высоте растений (табл. 2).

Таблица 2. Средняя высота растений в течение периода вегетации, см  
Table 2. Average plant height during the vegetation period, cm

№	Вариант	Дней после посева				
		15	25	35	50	65
1	Фон	7,3	18,0	25,0	47,2	55,1
2	Азофоска	8,1	19,0	27,5	49,2	63,2
3	Фон + ОФ 1	9,2	21,0	27,2	50,1	65,1
4	Фон + ОФ 2	10,5	20,0	28,3	52,5	73,0
5	Фон + ОФ 3	11,0	20,3	26,3	51,3	71,2
	НСР <sub>05</sub>	0,6	0,9	1,3	2,5	3,2

По динамике роста рапса ярового вариант «Фон + ОФ2» показывает устойчивое превышение над результатами по вариантам «Фон» и «Азофоска». При этом разница в значениях высоты растений для сравниваемых вариантов значимо отличается от величины наименьшей существенной разности.

Вариант «Фон + ОФ2» по средним показателям высоты растений рапса ярового в абсолютном выражении (+ 17,9 см) и по относительной прибавке (+ 32,4%) в росте показал наилучшие значения. Значимая разница по ежедневной прибавке в росте для исследуемых вариантов наступила после 50 дня вегетации, при этом расхождения в прибавке высоты растений увеличивались до последнего дня опыта.

Анализ урожайности биомассы рапса (табл. 3) показывает наибольшую существенную прибавку по отношению ко всем вариантам опыта у варианта Фон + ОФ2. Все варианты с применением ОФ также дали существенную прибавку как по отношению к азофоске, так и к фону. Таким образом, можно говорить об однозначной биологической эффективности ОФ на рапсе яровом.

Таблица 3. Урожайность зеленой массы рапса ярового в вегетационном опыте, г/сосуд  
Table 3. Green mass yield of spring rape in the vegetation experiment, g/vessel

№	Вариант	Урожайность зеленой массы	Прибавка в % по отношению к азофоске	Урожайность сухого вещества	Прибавка в % по отношению к азофоске
1	Фон	76,1	-	15,2	-
2	Азофоска	100,0	-	16,8	-
3	Фон + ОФ 1	115,4	15,4	19,6	16,7
4	Фон + ОФ 2	127,6	27,6	22,6	32,3
5	Фон + ОФ 3	113,3	13,3	20,6	22,6
	НСР <sub>05</sub>	6,2		0,9	

**Выводы.** Применение ОФ положительно влияет на линейный рост и развитие рапса ярового. Наиболее эффективными оказались дозы «Фон + ОФ1» и «Фон + ОФ2».

Вариант «Фон + ОФ2» по средним показателям высоты растений рапса ярового в абсолютном выражении (+ 17,9 см) и по относительной прибавке (+ 32,4%) в росте показал наилучшие значения. Также все варианты с ОФ дали прибавку по отношению к фоновому варианту: в абсолютном выражении (+ от 10,0 до 17,9 см) и по относительной прибавке (+ 18,1 до 32,4%) в росте.

Все варианты с применением ОФ также дали существенную прибавку биомассы как по отношению к азофоске, так и к фону. По зеленой массе прибавка к азофоске колеблется в зависимости от варианта от 13,3 до 27,6% и по сухому веществу – от 16,7 до 32,3% соответственно.

Этот эксперимент по выращиванию является важным (хотя и неполным) примером того, как обесфторенный фосфогипс может быть использован в качестве многокомпонентного минерального удобрения. Необходимо продолжить изучение этого опыта в последствии и с более широким диапазоном применяемых доз ОФ.

### Список источников литературы

1. Фосфогипс: хранение и направления использования как крупнотоннажного вторичного сырья: материалы II международной конференции, 18 мая 2010 г. / Сост. В. И. Суходолова. – М., 2010 – С. 115–119.
2. ИТС 2-2019 Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. – М.: Бюро НДТ, 2019. – С. 327–340.
3. Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application/ D. Lutskiy, T. Litvinova, A. Ignatovich, I. Fialkovskiy // . Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 221–225.
4. Ивочкина, М.А. Изучение техногенных отложений в отвалах фосфогипса при переработке исходного формирования свойств сырья различных месторождений // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. –С. 152–159.
5. Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock ore to the environment / R. Pérez-López, J.M. Nieto, I. López-Coto, J.L. Aguado, J.P. Bolívar, M. Santisteban, // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 25. – С. 705–715.
6. ГОСТ Р 58820-2020 «Фосфогипс для сельского хозяйства. Технические условия». – М.: Стандартинформ, 2020. – С. 3–5.
7. Калиниченко, В.П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии / В.П. Калиниченко // Питание растений. – 2017. – № 1. – С. 2–33.
8. Effect of Phosphogypsum as a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers / S.M. Al-Zaidyeen, N.S. Arabi Al-Qadi // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2015. – Vol. 9. – № 1. – С. 1–7.
9. Study on the Properties of Waste Apatite Phosphogypsum as a Raw Material of Prospective Applications / K. Grabas, A. Pawelczyk, W. Strek, E. Szeleg // Waste and Biomass Valorization. – 2019. – Vol. 10. – С. 3143–3155.
10. Extraction of critical technology elements and radionuclides from phosphogypsum tailings / M. Haschke, B. Friedrich, S. Stopic, D. Panias, P. Schneider, C. Dittrich // Conference: Opportunities in Processing of Metal Resources. – Budapest, 2016. – С. 3114–3174.
11. Сизяков, В.М. Технология комплексной переработки фосфогипса конверсионным способом с получением сульфата аммония, фосфомела и новых продуктов / В.М. Сизяков, С. В. Нутрихина, Б. В. Левин // Записки Горного института. – 2012. – Т. 197. – С. 239–244.
12. Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution / Y.Ennaciri, M. Bettach, A. Cherrat, A. Zegzouti, J. Mater // Environmental Science. – 2016.

– Т. 7. – № 6. – С. 1925–1933.

13. Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application Complex / D. Lutskiy, T. Litvinova, A. Ignatovich, I. Fialkovskiy // Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 221–225.

14. Байбеков, Р.Ф. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения/ Р. Ф. Байбеков, И. А. Шильников, Н. И. Аканова, и др. – ВНИИА. – М., 2012. – С. 27–34.

15. Комплексная оценка эффективности применения химического агента «ВКА» для детоксикации отходов производства фосфорной кислоты: отчет о научно-исследовательской работе / А.В Бородин. – СПб., 2021. – С. 3–27.

16. ТУ 29.59.59-015-13881083-2019 Высококонцентрированный агент (ВКА) для очистки и обезвреживания твердых и жидких продуктов природного и техногенного происхождения. Технические условия. – ООО «Никель». – С.-Петербург, 2019. – С. 2–10.

17. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» / СЗ РФ. – 2011. – № 28. – Ст. 4168.

18. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утвержден Правительством РФ 03.01.2014) / Правительство Российской Федерации [Официальный сайт]. URL: <http://government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf>.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М: Колос, 1985. – С. 217–265.

20. Журбицкий, З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – С. 174–226.

21. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1972. – С. 123–174.

22. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

### References

1. Fosfogips: khraneniye i napravleniya ispol'zovaniya kak krupno-tonnazhnogo vtorichnogo syr'ya: materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy konferentsii, 18.05.2010 [Phosphogypsum: storage and uses as a large-tonnage secondary raw material: Proceedings of the Second International Conference, May 18, 2010], Compiled by V. I. Sukhodolova, Moscow, pp. 115–119. (In Russ.)

2. Proizvodstvo ammiaka, mineral'nykh udobreniy i neorganicheskikh kislot (2019) [Production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids], ITS 2-2019, NDT Bureau, Moscow, pp 327–340. (In Russ.)

3. Lutskiy D., Litvinova T., Ignatovich A., Fialkovskiy I. (2018) Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application, Journal of Ecological Engineering, 2018, Vol. 19, № 2, pp. 221–225.

4. Ivochkina M.A. Izucheniye tekhnogennykh otlozheniy v otvalakh fosfogipsa pri pererabotke iskhodnogo formirovaniya svoystv syr'ya razlichnykh mestorozhdeniy (2013) [The study of technogenic deposits in phosphogypsum dumps during the processing of the initial formation of the properties of raw materials from various deposits], Inzhenernyy vestnik Dona [Don Engineering Gazette], 2013, № 2, pp. 152–159. (In Russ.)

5. Pérez-López R., Nieto J.M., López-Coto I., Aguado J.L., Bolívar J.P., Santisteban M. (2015) Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock ore to the environment, Applied Geochemistry, Vol. 25., pp. 705–715.

6. GOST R 58820-2020 “Phosphogypsum for agriculture. Specifications” (2020), Standartinform, Moscow, pp. 3–5. (In Russ.)

7. Kalinichenko V.P. Effektivnoye ispol'zovaniye fosfogipsa v zemledeli (2017) [Effective use of phosphogypsum in agriculture], Pitaniye rasteniy [plant nutrition], № 1, pp. 2–33. (In Russ.)

8. Al-Zaidyeen S.M., Arabi Al-Qadi N.S. (2015) Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers, *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 9, № 1, pp. 1–7.
9. Grabas K., Pawelczyk A., Strek W., Szeleg E. (2019), Study on the Properties of Waste Apatite Phosphogypsum as a Raw Material of Prospective Applications, *Waste and Biomass Valorization*. Vol. 10, pp. 3143–3155.
10. Haschke M., Friedrich B., Stopic S., Panias D., Schneider P., Dittrich C. (2016) Extraction of critical technology elements and radionuclides from phosphogypsum tailings, Conference: Opportunities in Processing of Metal Resources, Budapest, pp. 3114–3174.
11. Sizyakov B.M., Nutrikhina S.V., Levin B.V. (2012), Tekhnologiya kompleksnoy pererabotki fosfogipsa konversionnym sposobom s polucheniyem sul'fata ammoniya, fosfomela i novykh produktov, [The technology of complex processing of phosphogypsum by the conversion method with the production of ammonium sulfate, phosphochalk and new products], *Zapiski Gornogo institute [Notes of the Mining Institute]*, Vol.197, pp. 239–244.
12. Ennaciri Y., Bettach M., Cherrat A., Zegzouti A., Mater J. (2016) Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution, *Environmental Science*, Vol. 7, № 6, pp. 1925–1933.
13. Lutskiy D., Litvinova T., Ignatovich A., Fialkovskiy I. (2018) Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application Complex, *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 19, № 2, pp. 221–225.
14. Baibekov R.F., Shilnikov I.A., Akanova N.I., etc. (2012), Nauchno-prakticheskiye rekomendatsii po primeneniyu fosfogipsa neytralizovannogo v kachestve khimicheskogo melioranta i sernogo udobreniya [Scientific and practical recommendations on the use of neutralized phosphogypsum as a chemical ameliorant and sulfur fertilizer], VNIIA, Moscow, pp. 27–37. (In Russ.)
15. Borodin A.V. (2021) Kompleksnaya otsenka effektivnosti primeneniya khimicheskogo agenta «VKA» dlya detoksikatsii otkhodov proizvodstva fosfornoj kisloty. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote [Comprehensive evaluation of the effectiveness of the use of the chemical agent "VKA" for detoxification of waste products from the production of phosphoric acid. Research report], Saint-Petersburg, pp. 3–27. (In Russ.)
16. TU 29.59.59-015-13881083-2019 «Highly concentrated agent (HCA) for purification and neutralization of solid and liquid products of natural and technogenic origin. Specifications» (2019), OOO Nickel, St. Petersburg, pp. 2–10. (In Russ.)
17. Decree of the President of the Russia of 07.07.2011 No. 899 “On Approval of Priority Directions for the Development of Science, Technology and Engineering in the Russia and the List of Critical Technologies of the Russia (2011), NWRF, № 28, article 4168.
18. Forecast of scientific and technological development of the Russia for the period up to 2030 (approved by the Government of the Russia on 03.01.2014), Government of the Russia [Official site], URL: <http://government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf>.
19. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (1985) [Field experiment methodology], Ed. 4th, revised. and additional, Kolos [ear], Moscow, pp. 217–265. (In Russ.)
20. Zhurbitskiy Z.I. Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda (1968) [Theory and practice of the vegetation method], Moscow, pp. 174–226. (In Russ.)
21. Yudin F.A. Metodika agrokhimicheskikh issledovaniy (1972) [Methods of agrochemical research], Kolos [ear], Moscow, pp. 123–174. (In Russ.)
22. Guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility in agricultural lands. – M.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2003. – 240 p.

#### Сведения об авторах

**Агапова Полина Владимировна**, младший научный сотрудник испытательной лаборатории «ЭКООС», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: polinaagarova@mail.ru.

**Киселёв Максим Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель испытательной лаборатории «ЭКООС», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>, SPIN-код 6088-7951; e-mail: kiselev@spbgau.ru.

**Фрейдкин Иван Алексеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7492-4001>, SPIN-код 7887-9368; e-mail: fat3000@mail.ru.

#### Information about the authors

**Polina V. Agarova**, Junior Researcher of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; e-mail: polinaagarova@mail.ru.

**Maxim V. Kiselev**, Cand. Sci. (Agric.), Head of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>; SPIN-code 6088-7951; e-mail: kiselev@spbgau.ru.

**Ivan A. Freidkin**, Cand. Sci. (Agric.), Leading Researcher, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0001-7492-4001>; SPIN-code 7887-9368; e-mail: fat3000@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 20.09.2023; одобрена после рецензирования 02.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 20.09.2023; approved after reviewing 02.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья  
УДК 636.237:636.22/.28.033  
Код ВАК 4.2.4.  
doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-81-93

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ МУСКУЛАТУРЫ И СКЕЛЕТА БЫЧКОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ

В.В. Кулинцев<sup>1</sup>, А.Ф. Шевхужев<sup>1</sup>, Н.А. Дорохин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Северо-Кавказский Федеральный научно-аграрный центр,  
г. Михайловск, Ставропольский край, Россия  
✉ dorohin.2012@inbox.ru

**Реферат.** Цель работы: изучение влияния разных уровней кормления на рост, развитие мускулатуры и скелета бычков симментальской породы в условиях Карачаево-Черкесской республики. Исследование проводилось на базе СПК ПЗ «Заря-1» Карачаево-Черкесской Республики на бычках симментальской породы ( $n = 30$ ). За весь период выращивания бычков I группы израсходовано кормов на 28% больше, чем на бычков II (контрольной) группы, протеина – на 45% больше. В рационах телят I группы в молоке содержалось 13,3% кормовых единиц, в концентратах – 30,0%, в сочных и грубых кормах – 56,7%; в рационах телят II группы в молоке – 10,9% кормовых единиц, в концентратах – 13,92%, в сочных и грубых кормах – 75,2%. Установили, что соотношение темпов прироста между осевым и периферическим скелетом при повышенном уровне кормления выше, чем при хозяйственном. Кости позвоночника телят I опытной группы весят на 40% больше, чем II группы ( $p \geq 0,05$ ). Кости передних конечностей росли на 37% более интенсивнее в I группе, а задних на 35% ( $p \geq 0,05$ ). Весь скелет в I группе достоверно был выше на 38% по сравнению со II группой. Выявили, что во II группе в наибольшей степени задерживался рост интенсивно растущих костей, таких как поясничные позвонки, безымянная кость и лопатка, их масса достигла 55,5–56,8% от массы соответствующих костей телят I группы. По росту костяка в длину бычки II группы отстали от бычков I группы на 15%, в то время как костяк по массе у них был легче на 37,5%. При изучении мускулатуры установили, что у бычков II группы в сравнении с бычками I группы масса мускулатуры была меньше на 41,03% ( $p \geq 0,05$ ), в том числе масса мускулатуры осевого скелета на 45,4% ( $p \geq 0,05$ ) и мускулатуры периферического скелета на 38,1% ( $p \geq 0,05$ ). Таким образом, высокий уровень кормления обеспечивает наиболее полное проявление потенциальных генетических и биологических возможностей роста и развития костной и мускульной ткани, а также отдельных её групп в пределах частей туши.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, симментальская порода, уровень кормления, производство мяса, мясная продуктивность, показатели роста, мякоть, кости

**Цитирование.** Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Дорохин Н.А. Особенности роста и развития мускулатуры и скелета бычков симментальской породы в зависимости от технологии выращивания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 81–93. – doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-81-93.

GROWTH FEATURES AND MUSCULAR AND SKELETON DEVELOPMENT  
OF SIMMENTAL BREED BULLS DEPENDING ON REARING TECHNOLOGYV.V. Kulintsev<sup>1</sup>, A.F. Shevkhezhev<sup>1</sup>, N.A. Dorokhin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal National Research Center"  
Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia  
✉dorohin.2012@inbox.ru

**Abstract.** Purpose of the work is to study the influence of different levels of feeding on the growth, development of muscles and skeleton of Simmental bulls in the conditions of the Karachay-Cherkess Republic. The study was carried out on the basis of the SPK PZ "Zarya-1" of the Karachay-Cherkess Republic on bulls of the Simmental breed (n = 30). Over the entire period of growing bulls of Group I, 28% more feed was consumed than for bulls of Group II (control), and protein was consumed by 45% more. In the diets of Group I calves, milk contained 13.3% of feed units, concentrates – 30.0%, succulent and roughage – 56.7%; in the diets of calves of Group II in milk – 10.9% of feed units, in concentrates – 13.92%, in succulent and roughage feeds – 75.2%. It was found that the ratio of growth rates between the axial and peripheral skeleton at an increased level of feeding is higher than at an economic level. The SPINal bones of calves from experimental Group I weigh 40% more than those from Group II ( $p \geq 0.05$ ). The bones of the forelimbs grew 37% more intensively in Group I, and the bones of the hind limbs grew by 35% ( $p \geq 0.05$ ). The entire skeleton in Group I was significantly higher by 38% compared to Group II. It was found that in Group II, the growth of rapidly growing bones, such as the lumbar vertebrae, innominate bone and scapula, was most retarded; their weight reached 55.5–56.8% of the weight of the corresponding bones of Group I calves. In terms of bone growth in length, Group II bulls lagged behind Group I bulls by 15%, while their bone weight was 37.5% lighter. When studying the muscles, it was found that in Group II bulls, in comparison with Group I bulls, the muscle mass was less by 41.03% ( $p \geq 0.05$ ), including the muscle mass of the axial skeleton by 45.4% ( $p \geq 0.05$ ) and muscles of the peripheral skeleton by 38.1% ( $p \geq 0.05$ ). Thus, a high level of feeding ensures the most complete manifestation of the potential genetic and biological capabilities for the growth and development of bone and muscle tissue, as well as its individual groups within parts of the carcass.

**Keywords:** *cattle, Simmental breed, feeding level, meat production, meat productivity, growth rates, pulp, bones*

**Citation.** Kulintsev V.V., Shevkhezhev A.F., Dorokhin N.A. (2023), "Growth features and muscular and skeleton development of Simmental breed bulls depending on rearing technology", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 81–93, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-81-93.

**Введение.** В результате принимаемых в Российской Федерации государственных программ в сфере АПК, касающихся развития отечественного скотоводства, наметилась положительная тенденция роста и развития отрасли [1, 2]. Основная задача мясного скотоводства в России – насыщение рынка качественной и доступной для потребителя говядиной, на сегодняшний день это возможно только за счет интенсификаций производства [3]. Её решение требует более глубокого и тщательного изучения всех доступных резервов увеличения мясной продуктивности крупного рогатого скота, разводимого на территории Российской Федерации [4–6].

Последовательные изменения в постнатальном онтогенезе у новорожденных телят (от начала двигательной активности до окончательного формирования костной и мышечной системы в зрелом возрасте), определяющие интенсивность и характер роста скелета, мышц и

органов, зависят от множества факторов – от генетического потенциала до уровней кормления. В связи с этим описание и выявление особенностей развития мышечной, жировой и костной тканей у скота, особенно мясного направления продуктивности, в зависимости от условий среды и кормления являются важными и актуальными задачами [7]. Трудными многими исследователями установлено, что одним из важных аспектов в формировании мышечной ткани и костяка является уровень кормления, которые позволяют в полной мере проявиться заложенному генетическому потенциалу животных [7, 8]. Симментальская порода скота широко распространена на Юге России; это порода комбинированного направления продуктивности, селекционная работа с которой в настоящее время ведется в направлении увеличения мясной продуктивности с сохранением высоких показателей молочности. На сегодняшний день выведены внутривидовые мясные типы скота симментальской породы [9–11]. Однако некоторые вопросы остались слабо изученными.

**Цель работы** – изучить влияние разных уровней кормления на рост, развитие мускулатуры и скелета бычков симментальской породы в условиях Карачаево-Черкесской республики.

**Материал, методы и объекты исследований.** Исследование проводилось на базе СПК ПЗ «Заря-1» Карачаево-Черкесской Республики на бычках симментальской породы ( $n = 30$ ). В возрасте 6 месяцев животных разделили на 2 группы по принципу аналогов: I опытная группа – повышенный уровень кормления ( $n = 15$ ), II контрольная группа – принятый в хозяйстве уровень кормления ( $n = 15$ ). В молочный период телят кормили индивидуально, затем кормление было групповое. В летний период обе группы телят находились на одних и тех же пастбищах. Условия содержания и ухода, а также качество кормов было одинаковыми в обеих группах. Ежемесячно определяли расход и учет несъеденных остатков грубых и сочных кормов по группам по двум смежным дням с последующим снятием остатков.

*Кормление подопытного молодняка.* За весь период выращивания бычками I группы потреблено кормов на 28% больше, чем бычками II группы, соответственно и протеина на 45% больше. В рационах телят I группы в молоке содержалось 13,3% кормовых единиц, в концентратах – 30,0%, в сочных и грубых кормах – 56,7%; во II группе за тот же период в молоке – 10,9% кормовых единиц, в концентратах – 13,92%, в сочных и грубых кормах – 75,2%. При указанном кормлении молодняк I группы рос более интенсивно, чем II.

Кастратию бычков провели в 4-х месячном возрасте. Учет особенностей роста и развития бычков, а именно взвешивание и снятие 12 промеров для расчетов индексов телосложения, проводили при рождении и в 6, 12 и 18 месяцев. Контрольные убои подопытных бычков-кастратов проведены в 7, 12 и 18 месяцев. Животные, поступившие на мясокомбинат, находились на голодной выдержке в течение суток, затем проводили их убой по общепринятой технологии [14]. Все продукты, полученные от убоя, учитывали индивидуально. Достоверность полученных результатов и обработку данных проводили в программе Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics 26.

**Результаты исследования.** *Рост и развитие скелета в зависимости от уровня кормления молодняка.* В постэмбриональный период осевой скелет телят в обеих группах растет более интенсивно, чем периферический (табл. 1). Однако при сравнении показателей роста этих отделов между группами видно, что соотношение темпов прироста между осевым и периферическим скелетом в I группе выше, чем во II группе.

**Таблица 1. Развитие скелета у симментальских бычков-кастратов в 18-месячном возрасте при разных уровнях кормления**  
**Table 1. Skeletal development in Simmental steers at 18 months of age at different feeding levels**

Живая масса и скелет	Масса (в кг)		Коэффициент роста от рождения до 18 мес.		Относительная масса костяка бычков контрольной группы к массе бычков опытной (в %)
	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	
Живая масса	450,4 ± 6,84*	375,1 ± 5,75	11,33	6,50	57,5
Осевой скелет	27,4 ± 1,2*	16,9 ± 1,96	7,39	4,56	61,7
в т. ч. череп	7,4 ± 0,78*	4,9 ± 0,52	6,37	4,26	66,8
позвоночник	11,5 ± 1,5*	6,844 ± 1,02	6,77	4,04	59,7
рёбра и грудная кость	8,5 ± 0,88*	5,1 ± 0,45	10,05	6,04	60,1
Периферический скелет	26,7 ± 2,3*	16,9 ± 1,78	4,80	3,04	63,4
в т. ч. передние конечности	11,0 ± 0,7*	6,9 ± 1,0	4,80	3,03	62,2
задние конечности	15,6 ± 1,4*	10,1 ± 0,98	4,75	3,05	65,0
Весь скелет	54,1 ± 3,45*	33,8 ± 2,1	5,84	3,64	62,5

\*Примечание:  $p \geq 0,05$  – достоверная разница между опытной и контрольной группой

Развитие осевого скелета, особенно костей позвоночника и грудной клетки, при недостаточном кормлении задерживается несколько больше, чем развитие костей конечностей. Так, кости позвоночника телят I группы весили на 40% больше, чем у телят контрольной ( $p \geq 0,05$ ). Кости передних конечностей росли на 37% интенсивнее в I группе, а задние – на 35% ( $p \geq 0,05$ ). Весь скелет в I группе достоверно больше на 38% по сравнению со II группой.

Различный уровень кормления сказался и на росте отдельных костей (табл. 2). Как следует из приведённых данных, во II группе в наибольшей степени задержался рост интенсивно растущих костей, таких как поясничные позвонки, безымянная кость и лопатка, масса которых достигла 55,5–56,8% от массы соответствующих костей телят при высоком уровне кормления. Масса трубчатых костей – бедренной, плечевой, плюсны и пясти – составляла 64,7–66,9% от массы этих костей у хорошо развитых животных.

Наши исследования показывают, что по мере снижения уровня кормления также задерживается рост интенсивно растущих костей, и в более резкой форме обнаруживается различное его влияние на рост отдельных костей [15].

Так, у симментальских бычков I группы, достигших к убою в 18-месячном возрасте 455 кг, масса безымянной кости достигла 84%, бедренной – 86%, плюсны – 85%, лопатки – 83,5%, плечевой кости – 89% и пясти – 89% от массы этих костей у бычков II группы (живая масса 375 кг). Масса указанных костей в том же возрасте у бычков II группы соответственно была 74,5%, 87,5%, 89,5%, 75%, 87% и 90,5% от их массы у молодняка на повышенном уровне кормления.

Таблица 2. Влияние уровня кормления на рост отдельных костей у симментальского молодняка в 18-месячном возрасте  
Table 2. The influence of feeding level on the growth of individual bones in Simmental young animals at 18 months of age

Кости	Масса (в г)		Коэффициент роста за 18 месяцев		Относительная масса костяка бычков контрольной группы к массе бычков опытной (в %)
	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	
Шейные позвонки	3068 ± 215*	1797 ± 187	5,54	3,22	58,6
Поясничные позвонки	2384 ± 223*	1355 ± 142	7,18	5,70	56,8
Безымянная кость	1724 ± 157*	972 ± 55	8,50	4,80	56,4
Бедренная кость	2354 ± 218*	1553 ± 163	5,08	3,35	66,0
Плюсна	662 ± 54*	428 ± 78	3,07	2,02	64,7
Лопатка	851 ± 63*	472 ± 51	7,74	4,30	55,5
Плечевая кость	1786 ± 97*	1148 ± 97	5,78	3,72	65,2
Пясть	588 ± 71*	393 ± 49	3,10	2,14	66,9

Примечание \* $p \geq 0,05$  – достоверная разница между опытной и контрольной группой

При выращивании молодняка II группы задержка роста интенсивно растущих костей (безымянной, лопатки) более значительна, чем медленно растущих костей (бедренной, плечевой, плюсны, пясти (табл. 2).

Таким образом, при выращивании молодняка с разными уровнями кормления задержка в развитии костей носит дифференцированный характер, – как правило, те кости, которые имеют более интенсивный постэмбриональный рост, отстают в развитии больше, чем медленно растущие кости [15]. Значительно меньше задерживается рост костей в длину в сравнении с ростом их массы (табл. 3).

Из табл. 2 следует, что по росту костяка в длину бычки контрольной группы отстали от бычков опытной на 15%, масса костяка у них была меньше на 37,5%. В результате на 1 см длины костяка при повышенном уровне кормления приходится 64 г, а при хозяйственном уровне кормления – 47 г, что на 26% меньше.

Следует подчеркнуть, что у бычков во II группе в наибольшей степени снижается соотношение между массой и длиной интенсивно растущих костей, которые в значительной степени влияют на формирование широкотелости животных [16, 17]. На 1 см позвоночника приходится при повышенном уровне кормления 42,9 г, а при хозяйственном – 30,6 г, или на 29% меньше, в то время как для черепа это соотношение отстаёт на 19 % ( $p \geq 0,05$ ). Такая же картина имеет место при сравнении роста лопатки и безымянной кости с ростом трубчатых костей. На 1 см длины лопатки в I группе приходится 25,6 г её массы, а во II группе – 16,5 г ( $p \geq 0,05$ ), – соответственно, для безымянной кости 36,2 и 24 г, или 34–36% меньше, в то время как для трубчатых костей (бедренной, плечевой, плюсны и пясти) это уменьшение составляет 25,5–30% ( $p \geq 0,05$ ).

Измерение отдельных костей также показывает, что во II группе их рост в толщину отстаёт больше, чем в длину. У бычка-кастрата № 3 из II группы длина плечевой кости в 18-месячном возрасте по отношению к длине этой же кости у бычка № 8 из I группы составляла 81,5%, а ширина в диафизе – 78%, пястной кости – 94 и 80%, бедренной – 82 и 80% и плюсны – 90 и 79,5% соответственно.

Надо полагать, что формирование более тонких костей сокращает площадь кости, тем самым уменьшается поверхность для прикрепления мышц, что для мясного животного является нежелательным. Известно, что у животных мясных пород крупного рогатого скота и овец кости более короткие, но широкие.

*Рост и развитие мускулатуры в зависимости от уровня кормления молодняка.* Весовой рост мускулатуры изучался по 34 мышцам. Ниже приводятся данные по изменению массы мускулатуры у полуторалетних бычков-кастратов, выращенных с различными уровнями кормления (табл. 4).

**Таблица 4. Развитие мускулатуры у симментальского молодняка в возрасте 18-месяцев при разном уровне кормления**

**Table 4. Muscle development in Simmental young animals aged 18 months at different feeding levels**

Группа мускулов	Масса мускулатуры (в кг)		Коэффициент роста за 18 месяцев		Относительная масса мускулатуры бычков контрольной группы в % к массе опытной группы
	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	
Мускулатура осевого скелета	22,4 ± 1,1*	12,2 ± 1,2	12,53	6,84	54,60
в т. ч. мускулатура позвоночного столба	9,6 ± 0,8*	5,5 ± 0,77	11,60	6,68	57,48
Мускулатура, соединяющая плечевой пояс с туловищем	12,7 ± 0,72*	6,7 ± 1,1	13,32	6,98	52,41
Мускулатура периферического скелета	33,8 ± 2,85*	20,90 ± 2,45	11,57	7,16	61,90
в т. ч. мускулатура передней конечности	7,3 ± 0,87*	4,3 ± 0,47	11,12	6,59	59,22
Мускулатура задней конечности	26,5 ± 2,33*	16,6 ± 2,0	11,71	7,33	62,59
Вся мускулатура (удвоенная)	112,3 ± 12,84*	66,2 ± 9,12	11,94	7,03	58,97

*Примечание \* $p \geq 0,05$  – достоверная разница между опытной и контрольной группой*

Из табл. 4 следует, что у бычков II группы в сравнении с бычками I группы масса мускулатуры уменьшилась на 41,03% ( $p \geq 0,05$ ), в том числе масса мускулатуры осевого скелета – на 45,4 ( $p \geq 0,05$ ) и периферического скелета – на 38,1% ( $p \geq 0,05$ ). Следовательно, животные, выращенные во II группе, не просто уменьшаются в размерах, но при этом

происходят существенные изменения в соотношениях отдельных групп мышц. В наибольшей степени задерживается развитие интенсивно растущих мышц: мускулатуры, соединяющей плечевой пояс с туловищем, мускулатуры позвоночного столба. Относительно меньшее влияние на рост мускулатуры конечностей оказал уровень кормления, принятый в хозяйстве. Коэффициент роста мускулатуры, соединяющей плечевой пояс с туловищем, у бычков I группы превышает коэффициент роста этих мышц у бычков II группы на 91% ( $p \geq 0,05$ ), и рост мускулатуры позвоночника на 73% ( $p \geq 0,05$ ), в то время как по мышцам конечностей это превышение составляет только 60–68% ( $p \geq 0,05$ ).

В пределах задней конечности мускулатура области таза составила 59,7%, мускулатура в области бедра – 64,3% от массы соответствующей мускулатуры у бычков из I группы. Масса мускулатуры в области лопатки у бычков II группы уменьшилась на 42,8%, в области плеча на 39,3% (табл. 5).

Таблица 5. Рост отдельных групп мускулатуры передней и задней конечностей у симментальского молодняка в возрасте 18 месяцев при разном уровне кормления  
Table 5. Growth of individual groups of forelimb and hindlimb muscles in Simmental young animals aged 18 months at different feeding levels

Мышцы	Масса (в г)		Коэффициент роста		Относительная масса мускулатуры бычков контрольной группы в % к массе опытной группы
	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	
Мускулатура передней конечности	7244 ± 452*	4289 ± 0,22	11,12	6,59	59,22
в т. ч. в области лопатки	3084 ± 0,21*	1764 ± 0,19	10,60	6,06	57,20
в области плеча	4160 ± 0,87*	2525 ± 0,41	11,55	7,00	60,70
Мускулатура задней конечности	26541 ± 3,4*	16611 ± 2,3	11,71	7,33	62,59
в т. ч. в области таза	6372 ± 0,85*	3808 ± 0,44	12,98	7,75	59,75
в области бедра	18369 ± 2,44*	11810 ± 2,83	11,59	7,45	64,30

\*Примечание:  $p \geq 0,05$  – достоверная разница между опытной и контрольной группой

В разной степени хозяйственный уровень кормления задерживает рост и отдельных мышц. Рассмотрим более подробно рост мышц позвоночного столба и области бедра (табл. 6).

Из данных табл. 6 видно, что у животных II группы интенсивность роста различных мышц неодинакова, относительное уменьшение массы отдельных мышц колеблется в больших пределах. В области позвоночного столба наиболее достоверно снизилась масса малого поясничного мускула (65,5%), пластыревидного (53,3%), большого поясничного (50,5%) и в меньшей степени – длиннейшего спины (37%), длиннейшего шеи и головы (41%), остистого и полуостистого мускулов спины и шеи (46%). В области бедра достоверно более всего уменьшилась масса портняжного мускула (47%), напрягателя широкой фасции бедра и стройного мускула (45,5%).

Таблица 6. Влияние уровня кормления на рост мышц у бычков симментальской породы до 18-месячного возраста

Table 6. Effect of feeding level on muscle growth in Simmental cattle up to 18 months of age

Мышцы	Масса (в г)		Коэффициент роста		Относительная масса мускулатуры бычков контрольной группы в % к массе опытной группы
	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	
Мускулатура позвоночного столба:					
длиннейшей спины	5139 ± 876*	3231 ± 647	14,27	8,97	63,0
большой поясничный	1548 ± 110*	768 ± 270	12,80	6,35	49,5
Пластыревидный	711 ± 89*	332 ± 97	12,06	5,63	46,7
Малый поясничный	312 ± 66*	108 ± 25	12,00	4,15	34,5
Остистый и полу остистый спины и шеи	1427 ± 355*	769 ± 347	11,06	5,96	54,0
Длиннейший шеи и головы	609 ± 85*	358 ± 25	8,23	4,84	59,0
Полуостистый головы	1441 ± 46*	741 ± 29	7,92	4,06	51,3
Мускулатура области бедра:					
напрягатель широкой фасции бедра	1188 ± 222*	652 ± 64	15,63	8,55	54,5
двуглавый бедра	5169 ± 872*	3465 ± 188	12,79	8,55	67,0
портняжный	370 ± 59*	196 ± 25	12,33	6,54	53,0
стройный	1129 ± 77*	620 ± 95	12,27	6,75	54,6
полуперепончатый	3802 ± 124*	2588 ± 384	11,73	7,96	68,0
полусухожильный	2087 ± 287*	1272 ± 111	10,81	6,60	60,6
четырёхглавый	4624 ± 475*	3017 ± 524	9,93	6,45	65,3

Примечание \* $p \geq 0,05$  – достоверная разница между опытной и контрольной группой

Изменение темпов роста мышц при разном уровне кормления животных приводит к тому, что меняется расположение мышц, интенсивность их роста в обеих изучаемых группах, следовательно, и весовое соотношение между мышцами. Напрягатель широкой фасции бедра в I группе составляет 6,5% массы мускулатуры в области бедра ( $p \geq 0,05$ ), а во II группе его относительная масса составляет 5,5%, полусухожильный – 11,3 и 10,8%, стройный – 6,2 и 5,2% соответственно, в то же время относительная масса других мышц повышается ( $p \geq 0,05$ ).

Как правило, при хозяйственном уровне кормления в наибольшей степени задерживается рост интенсивно растущих мышц, однако встречаются отдельные мускулы, которые составляют исключение. Очевидно, рост таких мышц связан не только с уровнем кормления животных, но и с их функциональными особенностями [18].

Производство говядины устроено таким образом, что производители стремятся к получению скота с высоким выходом мякоти при минимальном содержании костяка [11, 19]. Нужно понимать, что развитие мускулатуры коррелирует с развитием костной системы: достаточная поверхность для прикрепления мышц является основополагающим фактором интенсивного развития мускулатуры. Поэтому задача селекционеров – сохранить определённый баланс между костной и мышечной системой, чтобы добиться увеличения мышечной массы и сохранения локомоции в физиологических нормах [20–22]. Животные мясного направления продуктивности всегда отличаются невысоким ростом и имеют большие широтные промеры по сравнению с бычками других направлений продуктивности, что способствует развитию и наращиванию мощной мускулатуры и характеризует продуктивные свойства [23]. Именно такую закономерность мы наблюдали в наших исследованиях.

**Заключение.** Установлено, что соотношение темпов прироста между осевым и периферическим скелетом при повышенном уровне кормления выше, чем при хозяйственном. Кости позвоночника в I группе весили на 40% больше, чем во II ( $p \geq 0,05$ ). Кости передних конечностей росли на 37%, а задних на 35% ( $p \geq 0,05$ ) более интенсивнее в I группе. Весь скелет в I группе достоверно был выше на 38% по сравнению со II группой. Выявили, что во II группе в наибольшей степени задерживался рост интенсивно растущих костей, таких как поясничные позвонки, безымянная кость и лопатка, масса которых достигла 55,5–56,8% от массы соответствующих костей телят I группы. По росту костяка в длину бычки II группы отстали от бычков I группы на 15%, в то время как масса костяка у них был меньше на 37,5%. При изучении мускулатуры установили, что у бычков II группы в сравнении с бычками I группы масса мускулатуры уменьшилась на 41,03% ( $p \geq 0,05$ ), в том числе мускулатуры осевого скелета – на 45,4% ( $p \geq 0,05$ ) и мускулатуры периферического скелета – на 38,1% ( $p \geq 0,05$ ).

Таким образом, выращивание молодняка крупного рогатого скота на хозяйственном уровне кормления приводит не только к снижению интенсивности роста мускулатуры, но и к изменению соотношения между массой отдельных мускулов и целых групп мышц. Наступает своеобразная дисгармония в соотношениях отдельных мышц в различных частях туши. Повышенный уровень кормления обеспечивает наиболее полное проявление потенциальных генетических и биологических возможностей роста и развития костной и мускульной ткани, а также отдельных её групп в пределах частей туши.

### Список источников литературы

1. Продуктивность и гематологические показатели ремонтных тёлочек калмыцкой породы, полученных от коров, стимулируемых препаратом ПИМ / Т. С. Кубатбеков, А. Н. Арилов, В. В. Голембовский, В. И. Косилов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (64). – С. 240–242.
2. Погодаев, В.А. Использование биологических стимуляторов при производстве говядины / В. А. Погодаев, В. В. Голембовский, В. В. Кулинцев. – Краснодар: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», – 2021. – 187 с.
3. Полиморфизм генов SCD и FABP4 у мясного скота калмыцкой породы / Х. А. Амерханов, А. И. Клименко, А. Ф. Шевхужев [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 4. – С. 9–13.

4. Мясное скотоводство России и перспективы его развития / А. Ф. Шевхужев, В. А. Погодаев, В. В. Голембовский, С. С. Гостищев // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2021. – № 4 (14). – С. 53–60.
5. Арилов, А.Н. Использование иммунно модулирующего препарата «ПИМ» в скотоводстве / А. Н. Арилов, В. В. Голембовский // *Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства*. – 2017. – Т. 6, № 2. – С. 68–73.
6. Голембовский, В.В. Влияние биологически активных кормовых добавок животного происхождения на продуктивные качества крупного рогатого скота / В. В. Голембовский, Л. А. Пашкова, В. С. Артамонов // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, № 5. – С. 79–83.
7. Прохоров, И.П. Особенности роста и развития скелета симментальских и помесных бычков, выращиваемых на мясо / И. П. Прохоров, О. А. Калмыкова // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2020. – № 2. – С. 58–61.
8. Features of body height and skeletogeny of carcasses of black and motley and local bull-calves depending on feeding level / V. N. Lukyanov, M. M. Ertuev, I. P. Prokhorov, A. N. Pikul // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 2017, No. 4(64), pp. 248–256.
9. Шошина, Ю.В. Анализ эффективности кормления бычков симментальской породы разных способов содержания / Ю. В. Шошина // *Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики : материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 190-летию со дня рождения И.А. Стебута, Санкт-Петербург – Пушкин, 24–26 мая 2023 года*. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2023. – С. 129–132.
10. Romanzin A. et al. Feeding efficiency and behavior of young Simmental bulls selected for high growth capacity: Comparison of bulls with high vs. low residual feed intake // *Livestock Science*, 2021. Т. 249, pp. 104525.
11. Прохоров, И.П., Эртуев, М.М., Пикуль, А.Н. Особенности роста и развития мускулатуры бычков симментальской породы и ее помесей с мясной симментальской и шаролезской // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2019. – № 3. – С. 158–172.
12. Кулинцев, В.В. Влияние уровня кормления на продуктивность бычков симментальской породы / В. В. Кулинцев, А. Ф. Шевхужев, Н. А. Дорохин // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2022. – № 5. – С. 120–132. – DOI 10.26897/0021-342X-2022-5-120-132.
13. Кулинцев, В.В. Эффективность выращивания и откорма молодняка симментальской породы при разных технологиях содержания и кормления / В. В. Кулинцев, А. Ф. Шевхужев, Н. А. Дорохин // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2022. – № 3(15). – С. 96–111.
14. Методология научных исследований в животноводстве и кормопроизводстве: методическое пособие / Под редакцией А. И. Сурова. – Ставрополь : Северо-Кавказский ФНАЦ : Ставрополь-Сервис-Школа, 2022. – 363 с.
15. Шевхужев, А.Ф. Особенности роста молодняка черно-пестрой породы в зависимости от уровня кормления / А. Ф. Шевхужев, В. А. Погодаев // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции*. В 2 книгах. Барнаул, 09–10 февраля 2022 года. Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2022. – С. 181–183.
16. Шевхужев, А.Ф. Развитие отдельных мускулов и их химический состав у бычков абердин-ангусской породы в зависимости от типа телосложения / А. Ф. Шевхужев, В. А. Погодаев, К. Г. Магомедов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 4 (90). – С. 235–240.

17. Основы научных исследований в зоотехнии / В. А. Бабушкин, О. Е. Самсонова, А. Н. Негреева, А. Г. Нечепорук. – Мичуринск : Мичуринский государственный аграрный университет, 2020. – 115 с.
18. Кибкало, Л.И. Голштины и симменталы – важный источник производства говядины / Л. И. Кибкало, Н. И. Жеребилов. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2020. – 393 с.
19. Грикшас, С.А. Мясная продуктивность бычков мясных пород / С. А. Грикшас, М. Шамидова, М. Р. Аббасов // Доклады ТСХА : сборник статей, Москва, 01 января – 31 2015 года. Выпуск 288. Часть I. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 221–224.
20. Choi S. W., Ferrari G., Tedesco F. S. Cellular dynamics of myogenic cell migration: molecular mechanisms and implications for skeletal muscle cell therapies // *EMBO molecular medicine*. – 2020. – Т. 12. – С. e12357.
21. Киченко, А.А. Перестройка структуры губчатой костной ткани: математическое моделирование // *Российский журнал биомеханики*. – 2019. – Т. 23. – № . 3. – С. 336–358.
22. Razanova, O.P., Farionik, T.V., Skoromna, O.I. The influence of the type of feeding on meat productivity of young cattle and meat quality // Publishing House «Baltija Publishing». – 2023.
23. Prohorov, I.P., Kalmykova, O.A. Growth and development patterns of the skeleton in Simmental and cross young beef bulls // *Russian Agricultural Sciences*. – 2020. Т. 46, pp. 295–299.

#### References

1. Kubatbekov T.S., Arilov A.N., Golembovsky V.V., & Kosilov V.I. (2017), 'Productivity and hematological parameters of Kalmyk breed replacement heifers obtained from cows stimulated with the drug PIM', *News of the Orenburg State Agrarian University*, vol. 64, no. 2, pp. 240–242.
2. Pogodaev V.A., Golembovsky V.V., Kulintsev V.V. (2021), Use of biological stimulants in beef production. Krasnodar: Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, 187 p.
3. Amerkhanov H.A., Klimenko A.I., Shevkhuzhev A.F., Dubovskova M.P., Kanibolotskaya A.A. (2023), 'Polymorphism of SCD and FABP4 genes in meat cattle of the Kalmyk breed', *Dairy and meat cattle breeding*, 4, pp. 9–13.
4. Shevkhuzhev A.F., Pogodaev V.A., Golembovsky V.V., & Gostishchev, S.S. (2021). Beef cattle breeding in Russia and prospects for its development. *Agricultural Journal*, vol. 14, no 4, pp. 53–60.
5. Arilov A.N., & Golembovsky V.V. (2017). Use of the immune modulating drug "PIM" in cattle breeding. *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*, 6 (2), pp. 68–73.
6. Golembovsky V.V., Pashkova L.A., Artamonov V.S. (2022). The influence of biologically active feed additives of animal origin on the productive qualities of cattle. // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 36 (5), pp. 79–83.
7. Prokhorov I.P., & Kalmykova O.A. (2020). Peculiarities of growth and skeletal development of Simmental and crossbred bulls raised for meat. *Russian agricultural science*, (2), pp. 58–61.
8. Lukyanov V.N., Ertuev M.M., Prokhorov I.P., & Pikul A.N. (2017). Features of body height and skeletogeny of carcasses of black and motley and local bull-calves depending on feeding level. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, (4), pp. 248–256.

9. Shoshina Yu.V. (2023) Analysis of the effectiveness of feeding bulls of the Simmental breed of different ways of keeping. Priorities of agro-industrial complex development in the conditions of digitalization and structural changes of the national economy Pushkin, May 24-26, 2023. – St. Petersburg: Saint-Petersburg State Agrarian University, pp. 129–132.
10. Romanzin A. et al. (2021) Feeding efficiency and behavior of young Simmental bulls selected for high growth capacity: Comparison of bulls with high vs. low residual feed intake // *Livestock Science*. 249. P. 104525.
11. Prokhorov I.P., Ertuev M.M., Pikul A.N. (2019) Features of growth and development of musculature of bulls of the Simmental breed and its crossbreeds with meat Simmental and Charolaise // *News of the Timiryazev Agricultural Academy*, 3, pp. 158–172.
12. Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., & Dorokhin N. A. (2023). The influence of feeding level on the productivity of Simmental bulls. *News of the Timiryazev Agricultural Academy*, (5), pp. 120–132.
13. Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., & Dorokhin N.A. (2022). Efficiency of raising and fattening young animals of the Simmental breed using different housing and feeding technologies. *Agricultural Journal*, 15(3).
14. Syrov A.I. (2022). Methodology of scientific research in animal husbandry and feed production (methodological manual). Stavropol: Federal State Budgetary Institution “North Caucasian Federal National Scientific Center”, Stavropol-Service-School. p. 364.
15. Shevkhuzhev A.F., & Pogodaev V.A. (2022). Growth features of young black-mottle breed depending on the level of feeding. *In Agricultural Science-Rural Science*, pp. 181–183.
16. Shevkhuzhev A.F., Pogodaev V.A., & Magomedov K.G. (2021). Development of individual muscles and their chemical composition in Aberdeen Angus bulls depending on body type. *News of the Orenburg State Agrarian University*, 4 (90), pp. 235–240.
17. Babushkin V.A., Samsonova O.E., Negreeva A.N., & Necheporuk, A.G. (2020). Fundamentals of scientific research in animal science.
18. Kibkalo L.I., Zherebilov N.I. (2020). Holsteins and Simmentals are an important source of beef production.
19. Grikshas S.A., Shamidova M., & Abbasov M.R. (2016). Meat productivity of beef bulls. *In TSCA Proceedings*, pp. 221–224.
20. Kamilov F.Kh., Farshatova E.R., & Enikeev D.A. (2014). Cellular and molecular mechanisms of bone tissue remodeling and its regulation. *Basic Research*, (7-4), pp. 836–842.
21. Kichenko A.A. (2019) Restructuring of the structure of spongy bone tissue: mathematical modeling. *Russian Journal of Biomechanics*, 23(3), pp. 336–358.
22. Razanova O.P., Farionik T.V., Skoromna O.I. (2023) The influence of the type of feeding on meat productivity of young cattle and meat quality. *Publishing House “Baltija Publishing”*.
23. Prohorov I.P., Kalmykova O.A. (2020) Growth and development patterns of the skeleton in Simmental and cross young beef bulls. *Russian Agricultural Sciences*, vol. 46, pp. 295–299.

#### **Сведения об авторах**

**Кулинцев Валерий Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский Федеральный научно-аграрный центр», г. Михайловск, Ставропольский край, <https://orcid.org/0000-0003-2482-6336>, SPIN-код: 6578-2160; e-mail: retnes.canf@ofni.

**Шевхужев Анатолий Фoaдович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории промышленной технологии производства продукции

животноводства Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский Федеральный научно-аграрный центр», г. Михайловск, Ставропольский край, <https://orcid.org/0000-0002-9164-4199>, SPIN-код: 1004-4991; e-mail: shevkhuzhevaf@yandex.ru.

**Дорохин Николай Александрович**, младший научный сотрудник Лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский Федеральный научно-аграрный центр», г. Михайловск, Ставропольский край, <https://orcid.org/0000-0003-3610-6758>, SPIN-код: 2464-3730; e-mail: dorohin.2012@inbox.ru.

### Information about the authors

**Valery V. Kulintsev**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific and Agricultural Center", Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2482-6336>, SPIN-code: 6578-2160; retneq.canf@ofni.

**Anatoliy F. Shevkhuzhev**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Chief Researcher of industrial technology of livestock production at the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific and Agrarian Center", Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9164-4199>, SPIN-code: 1004-4991; shevkhuzhevaf@yandex.ru.

**Nikolai A. Dorokhin**, Junior Researcher of the laboratory of industrial technology of livestock production of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific and Agrarian Center", Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3610-6758>, SPIN-code: 2464-3730; dorohin.2012@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 28.09.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted 28.09.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.*

Научная статья

УДК: 636.084.1

Код ВАК 4.2.4

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-94-103

**ПЕРЕВАРИМОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАЦИОНА У ЛОШАДЕЙ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИКОРМОВ НА ОСНОВЕ  
МИКРОНИЗИРОВАННОГО ЗЕРНА****О.Г. Шараськина<sup>1</sup>✉, Е.И. Алексеева<sup>2</sup>, А.А. Фисенко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Академия менеджмента и агробизнеса,  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Шушары, Санкт-Петербург, Россия  
✉xmause@mail.ru<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

**Реферат.** Для обеспечения высокой потребности в энергии рационы спортивных лошадей традиционно вводят большие количества зерновых концентратов. Злаковые зерновые, используемые в кормлении лошадей, – овес, ячмень и кукуруза, характеризуются высоким (50–75%) содержанием крахмала. Лошади обладают низкой способностью к ферментативному гидролизу крахмала в тонком кишечнике, что может в целом оказывать влияние на переваримость питательных веществ рациона и на обеспеченность лошади энергией. Согласно опубликованным данным, усвояемость крахмала в тонком отделе кишечника у лошадей повышается при использовании термически обработанного зерна. Но как влияет термическая обработка зерна на переваримость других питательных веществ рациона у лошадей, а также насколько эффективно перевариваются такие зерновые в виде комбикормов, включающих в себя и другие ингредиенты, не определено. Основной целью исследования являлось изучение переваримости питательных веществ рационов, включающих в себя комбикорм из микронизированного зерна в качестве единственного вида концентрированного корма. Для этого провели сравнительную оценку коэффициентов переваримости сено-овсяных рационов, и таких, где в качестве единственного концентрированного корма использовали комбикорм на основе микронизированного зерна. Объектом исследования стали лошади верховых и рысистых пород (n = 8) в возрасте от 4 до 9 лет, подобранные по принципу пар-аналогов. Постановка опыта осуществлялась методом Латинских квадратов 2 x 2. Результаты исследования показали, что использование комбикормов, произведенных из микронизированного зерна, повышает переваримость питательных веществ и рациона. Содержание сырой клетчатки в рационах на уровне 18–22% не оказывает значительного влияния на переваримость сухого вещества, протеина и БЭВ, но существенно влияет на переваримость самой клетчатки.

**Ключевые слова:** переваримость, кормление лошадей, микронизированное зерно, комбикорм

**Цитирование.** Шараськина О.Г., Алексеева Е.И., Фисенко А.А. Переваримость питательных веществ рациона у лошадей при использовании комбикормов на основе микронизированного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5(74). – С. 94–103, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-94-103.

## DIGESTIBILITY OF DIETARY NUTRIENTS IN HORSES WHEN USING COMBINED FEEDS BASED ON MICRONIZED GRAINS

O.G. Sharaskina<sup>1</sup> ✉, E.I. Alekseeva<sup>2</sup>, A.A. Fisenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Academy of Management and Agribusiness, "Saint-Petersburg State Agrarian University",  
Shushary, Saint Petersburg  
✉ xmause@mail.ru

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

**Abstract.** To meet high energy requirements, large amounts of grain concentrates are traditionally added to the diets of sport horses. The cereal grains used in horse feeding – oats, barley and corn – are characterized by a high (50–75%) starch content. Horses have a low ability to enzymatically hydrolyze starch in the small intestine, which may have an overall impact on the digestibility of dietary nutrients and the horse's energy supply. Published data indicate that starch digestibility in the small intestine of horses is increased by the use of heat-treated grains. But how heat treatment of grain affects the digestibility of other dietary nutrients in horses, as well as how efficiently such grains are digested in the form of compound feeds that include other ingredients, has not been determined. The main goal of the study was to study the digestibility of nutrients in diets that included mixed feed from micronized grain as the only type of concentrated feed. To do this, we carried out a comparative assessment of the digestibility coefficients of hay-oat diets and those where feed based on micronized grain was used as the only concentrated feed. The objects of the study were horses of riding and trotting breeds (n = 8) aged from 4 to 9 years, selected according to the principle of analogous pairs. The experiment was carried out using the 2 x 2 Latin square method. The results of the study showed that the use of feed produced from micronized grain increases the digestibility of nutrients and diet. The crude fiber content in diets at the level of 18–22% does not have a significant effect on the digestibility of dry matter, protein and BEV, but significantly affects the digestibility of the fiber itself.

**Keywords:** *digestibility, horse feeding, micronized grain, combined feeds*

**Citation.** Sharaskina O.G., Alekseeva E.I., Fisenko A.A. "Digestibility of dietary nutrients in horses when using combined feeds based on micronized grains", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 94–103, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-94-103.

**Введение.** Для обеспечения высокой потребности в энергии в рационы спортивных лошадей традиционно вводят большие количества зерновых концентратов. Злаковые зерновые овес, ячмень и кукуруза, используемые в кормлении лошадей, характеризуются высоким (50–75%) содержанием крахмала. Переваривание крахмала зависит от нескольких факторов, наиболее важными из которых являются уровень потребления, ботаническое происхождение, генотип и обработка зерна [16, 17, 18]. Лошади обладают низкой способностью к ферментативному гидролизу крахмала в тонком кишечнике. Исследованиями [16] установлено, что верхний предел составляет примерно 2 г крахмала на 1 кг живой массы на один прием корма. При избыточном поступлении выходящий непереваренным из тонкого кишечника крахмал быстро ферментируется микроорганизмами в толстом кишечнике, что приводит к выработке огромных количеств пропионата и лактата [14], которые насыщают буферную емкость задней кишки и резко снижают pH её содержимого. Это может привести к изменениям баланса микрофлоры и снижению эффективности переваривания клетчатки, тем

самым снизить выход энергии из кормов [8, 9], а также стать причиной метаболических проблем [13]. Кроме того, избыток крахмала и сахара в рационе, обусловленный введением высоких доз концентрированных кормов, связывают с риском развития гастрита и язвы желудка у лошадей [10, 15]. Это также может в целом оказывать влияние на переваримость питательных веществ рациона и на обеспеченность лошади энергией.

Согласно опубликованным данным, усвояемость крахмала в тонком отделе кишечника у лошадей повышается при использовании микронизированного [17] и экструдированного [18] зерна.

**Цель исследования** – изучение переваримости питательных веществ рационов, включающих в себя комбикорм из микронизированного зерна в качестве единственного вида концентрированного корма. С этой целью была проведена сравнительная оценка коэффициентов переваримости сено-овсяных и рационов, где в качестве единственного концентрированного корма использовали комбикорм на основе микронизированного зерна.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Объектом исследования стали лошади верховых и рысистых пород ( $n = 8$ ) в возрасте от 4 до 9 лет ( $5,25 \pm 2,12$ ), подобранные по принципу пар-аналогов. Постановка опыта осуществлялась методом Латинских квадратов  $2 \times 2$ . Продолжительность периодов: подготовительный период – 15 дн., первый учетный период – 1 мес., транзитный период – 15 дней, второй учетный период – 1 мес. В первый период лошади группы А ( $n = 4$ ) получали овёс в качестве концентрированного корма, а группы Б ( $n = 4$ ) – комбикорм, произведенный из микронизированного зерна (70% от массы к/к) в форме мясли. Во втором учетном периоде группа Б получала овес, группа А – комбикорм. Лошади содержались в индивидуальных денниках. Кормление сеном и концентратами трехразовое, поение – из автопоилок. Лошади получали сбалансированный рацион, включающий злаково-разнотравное сено и концентрированные корма, количество которых определялось с учетом живой массы и уровня рабочих нагрузок.

Учет количества потребляемого корма осуществлялся ежедневно. Отбор средних проб корма для лабораторного анализа производился согласно ГОСТ ISO 6497-2014 [21]. Учет общего количества выделенного кала и отбор проб для анализа осуществляли в течение пяти смежных суток в конце каждого учетного периода. Содержание питательных веществ в кормах и кале определяли по общепринятым методикам зоотехнического анализа [2].

Содержание обменной энергии (ОЭ) в рационах определяли по формуле:

$$\text{ОЭл} = 19,46 \cdot \text{пП} + 35,43 \cdot \text{пЖ} + 15,95 \cdot \text{пК} + 15,95 \cdot \text{пБЭВ},$$

где ОЭл – обменная энергия для лошадей;

пП, пЖ, пК и пБЭВ – переваримые протеин, жир, клетчатка и безазотистые экстрактивные вещества соответственно [5].

Для контроля физиологического состояния лошадей по завершении первого учетного периода перед утренним кормлением у них брали кровь для биохимического исследования. Кровь отбиралась в вакуумные пробирки с активатором свертывания, центрифугировалась для получения сыворотки, которую замораживали и хранили при температуре  $-20$  °С до проведения анализа. Анализ проводили в клинико-биохимической лаборатории ФГБОУ ВО «СПбГУВМ» на полуавтоматическом анализаторе Clima MC-15 (Испания) с помощью биохимических наборов реагентов «Ольвекс диагностикум» (Россия). Массу лошадей определяли по промерам, а кондиции – по Хеннеку [6].

Полученные данные обработаны статистически с использованием программы MS Excel. Определялись среднее значение признака ( $M$ ), стандартное отклонение ( $sd$ ), коэффициент корреляции ( $r$ ). Оценку достоверности результатов проводили с помощью  $t$ -критерия Стьюдента и  $U$ -критерия Манна – Уитни. Достоверными считались значения при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследования.** В периоды использования рациона «сено + овёс» лошади в среднем ежедневно потребляли сена злаково-разнотравного  $9,14 \pm 0,58$  кг; овса –  $5,25 \pm 1,77$  кг. В рационе было сырой клетчатки (СК)  $18,97 \pm 1,05\%$ ; сырого протеина (СП) –  $10,73 \pm 0,24\%$ ; жира (Ж) –  $3,51 \pm 0,15\%$ ; золы (З) –  $6,45 \pm 0,44\%$ . В периоды использования рациона «сено + мюсли»: сено злаково-разнотравное –  $9,46 \pm 0,53$  кг; комбикорм –  $3,9 \pm 1,92$  кг, с содержанием СК –  $20,01 \pm 2,23\%$ ; СП –  $11,07 \pm 1,3\%$ ; Ж –  $4,25 \pm 0,97\%$ ; З –  $7,83 \pm 0,64\%$ . Содержание сухого вещества (СВ) в периоде «сено + овес» составляло –  $2,65 \pm 0,27\%$  от ж. м.; в периоде «сено + мюсли» –  $2,42 \pm 0,20\%$ .

Количество концентрированных кормов в периодах, когда лошади получали комбикорм, было ниже в среднем на 26%, чем в периодах с овсом, т. к. содержание ОЭ в комбикорме было выше, чем в овсе. Но разница между группами оказалась недостоверной из-за большого размаха изменчивости в группах, это связано с тем, что лошади выполняли работу разного уровня сложности и получали концентраты в соответствии с уровнем рабочей нагрузки.

Результаты сравнительного анализа коэффициента переваримости (КП) в группах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициент переваримости питательных веществ рациона,  $M \pm sd$ , %  
Table 1. Dietary nutrient digestibility coefficient,  $M \pm sd$ , %

Рацион	Коэффициент переваримости, %						
	СВ	Орг. СВ	Жир	Протеин	Клетчатка	Зола	БЭВ
Сено + овес	$63,74 \pm 3,18$	$65,08 \pm 3,49$	$49,58 \pm 3,59$	$65,40 \pm 0,99$	$49,38 \pm 1,62$	$44,09 \pm 1,72$	$70,89 \pm 5,64$
Сено + мюсли	$73,73 \pm 2,03^*$	$74,91 \pm 2,26^*$	$56,70 \pm 9,04^*$	$76,16 \pm 5,22^*$	$61,88 \pm 5,85^*$	$53,65 \pm 2,15^*$	$80,57 \pm 2,55^*$

\*Примечание:  $p \leq 0,05$

Коэффициенты переваримости СВ (на 9,99%,  $p = 0,0004$ ), органического вещества (на 9,83%,  $p = 0,0036$ ), протеина (на 10,76%,  $p = 0,001$ ), клетчатки (на 12,5%,  $p = 0,001$ ), безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) (на 9,68%,  $p = 0,004$ ), жира (на 7,12%,  $p = 0,036$ ) у рационов «сено + мюсли» были достоверно выше, чем у «сено + овес».

Содержание обменной энергии (ОЭ) в рационах с учетом полученных коэффициентов переваримости не имело достоверной разницы и составило в рационах: «сено + овёс» –  $27,26 \pm 2,98$  МДж/100 кг ж. м.; «сено + мюсли» –  $29,28 \pm 3,37$  МДж/100 кг ж. м.

Упитанность лошадей в обеих группах перед началом опыта была в пределах нормы и не изменилась к завершению первого периода. К концу второго периода в группе, получавшей овёс, наблюдали тенденцию к снижению живой массы и снижению упитанности на 0,5–1 балла. Вероятно, это связано с тем, что лошади, привыкшие потреблять комбикорм в форме мюсли с более высокой усваиваемостью питательных веществ, могли хуже пережевывать цельное зерно, снижая его переваримость, и реагировать снижением упитанности на

недополучение ОЭ из-за более низких показателей переваримости питательных веществ рациона, которые были выявлены в ходе исследования.

Оценка коэффициента корреляции КП питательных веществ рациона с уровнем содержания клетчатки, протеина и жира в составе рационов (табл. 2) выявила существенные различия между группами по отдельным показателям.

Таблица 2. Корреляция коэффициентов переваримости питательных веществ рационов с содержанием клетчатки, протеина и жира в рационах  
 Table 2. Correlation of nutrient digestibility coefficients of diets with fiber, protein and fat content in diets

Период	«Овес»	«Мюсли»	«Овес»	«Мюсли»	«Овес»	«Мюсли»
Коэфф. переваримости:	СК в рационе, %		СП в рационе, %		Ж в рационе, %	
СВ	-0,23	-0,02	+0,34	+0,30	+0,25	+0,05
Органич.СВ	-0,22	+0,35	+0,34	+0,14	+0,22	-0,21
Протеин	+0,22	-0,23	-0,36	+0,22	-0,24	-0,02
Жир	-0,27	-0,29	<b>-0,71</b>	+0,22	+0,09	+0,06
Клетчатка	<b>-0,61</b>	+0,32	-0,37	+0,28	+0,41	0,03
БЭВ	-0,09	+0,32	+0,41	-0,18	+0,15	-0,40

Содержание СК в рационе слабо коррелировало с КП сухого и органического вещества, протеина, жира и БЭВ, но имело высокий отрицательный коэффициент в группе «овес» по отношению к КП клетчатки. При этом в группе «мюсли» коэффициент корреляции хоть и был низким, но имел положительное значение.

В группе «овес» также получено высокое значение отрицательного коэффициента корреляции содержания СП в рационе с КП жира, что указывает на ухудшение его переваримости при увеличении доли СП в рационе. В группе «мюсли» и в этом случае значение  $r$  оказалось незначительным, но имело положительное значение.

Согласно «Нормам и рационам...» (2003), увеличение количества клетчатки относительно оптимального (16% от СВ) снижает использование обменной энергии рациона лошади и требует использования поправочных коэффициентов на депрессивное действие клетчатки [5]. В нашем исследовании и в рационах с овсом ( $18,97 \pm 1,05\%$ ), и в рационах с комбикормом ( $20,01 \pm 2,23\%$ ) содержание СК превышало данную норму. Причем в рационах с мюсли клетчатки было больше. Снижения переваримости питательных веществ рациона, которое бы существенно повлияло на использование энергии, не отмечали. Напротив, переваримость питательных веществ рационов, где СК было больше рекомендуемой нормы (16%) и больше, чем в рационах с овсом (где СК в среднем было меньше), оказалась выше. В рационах с овсом при повышении количества СК было отмечено существенное снижение переваримости самой клетчатки и жира, но по прочим показателям негативного действия не выявлено. В рационах с мюсли также отмечено снижение переваримости.

Биохимический анализ крови показал, что у лошадей, получавших и овёс, и комбикорм, результаты были в пределах референтных значений. При этом выявлены достоверные различия по ряду показателей (табл. 3).

Таблица 3. Результаты биохимического анализа крови,  $M \pm sd$   
Table 3. Results of biochemical blood analysis,  $M \pm sd$

Показатель, ед. измерения.	Нормы**	«Овёс»	«Мюсли»
Общий белок, г/л	62-78	66,43 ± 1,41	67,63 ± 1,89
Альбумин, г/л	25-45	32,35 ± 4,47	33,63 ± 3,48
Мочевина, ммоль/л	3,3-6,7	6,29 ± 1,27	5,67 ± 0,44
Креатинин, мкмоль/л	62-167	122,13 ± 28,72	79,03 ± 3,96*
Билирубин, мкмоль/л	5,6-39	28,75 ± 14,05	11,30 ± 1,94*
АСТ, МЕ/л	50-420	296,27 ± 45,33	311,23 ± 20,03
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	80-200	185,40 ± 126,14	180,32 ± 29,48
Амилаза, МЕ/л	10-100	65,85 ± 22,96	35,43 ± 11,18*
Глюкоза, ммоль/л	4,2-6,4	4,89 ± 1,14	4,25 ± 0,19
Холестерин, ммоль/л	2,3-4,4	2,19 ± 0,44	2,30 ± 0,25
Кальций, ммоль/л	2,5-3,4	2,83 ± 0,28	2,99 ± 0,26
Фосфор, ммоль/л	0,7-1,4	1,48 ± 0,37	1,51 ± 0,12
Магний, ммоль/л	0,7-1,25	0,77 ± 0,12	0,97 ± 0,08*
Калий, ммоль/л	2,8-4,5	4,02 ± 0,60	4,05 ± 0,42
Натрий, ммоль/л	130-150	143,33 ± 5,69	144,24 ± 2,42
Хлориды, ммоль/л	95-105	104,68 ± 7,21	104,03 ± 4,56
Железо, мкмоль/л	15-32	28,19 ± 5,26	22,3 ± 4,85
Триглицериды, ммоль/л	0,1-0,4	0,272 ± 0,200	0,340 ± 0,116
Примечание: * $p < 0,05$ ** – нормы клинико-биохимической лаборатории ФГБОУ ВО «СПбГУВМ»			

Результаты биохимического анализа крови показали, что в группе «овёс» наблюдается больший размах изменчивости по большинству исследуемых показателей, чем в группе «мюсли», а по показателям креатинина, билирубина и амилазы выявлена достоверная разница. Креатинин – конечный продукт креатин-фосфатной реакции. Он участвует в энергетическом обмене мышечной и других тканей и выводится из организма почками, с мочой, поэтому креатинин – важный показатель деятельности почек [11]. Влияние диеты на изменение уровня креатинина в крови у лошадей не отмечалось. У человека изменение уровня креатинина может быть связано с большим количеством мясных продуктов в рационе, следовательно, с повышением количества белка или голоданием [1]. У лошадей, напротив, потребление белка с кормом мало влияет на уровень креатинина [7]. К тому же в нашем исследовании лошади получали примерно одинаковое количество протеина и не голодали, поэтому связывать различия данного показателя с особенностью диеты считаем необоснованным. То же касается и различий в показателе билирубина: у лошадей его значение может изменяться из-за голодной выдержки [10, 12, 18], но другого влияния, связанного с кормлением, не отмечено.

В норме амилаза в крови присутствует в минимальном количестве. Она вместе с пищеварительными соками поступает из поджелудочной железы сразу в кишечник. Повышение концентрации амилазы в крови относительно нормы может быть признаком патологии поджелудочной железы [2]. Но в нашем исследовании её значение было в пределах нормы, а более высокие показатели у лошадей из группы «овёс», возможно, ассоциированы с высоким содержанием необработанного крахмала, поступающего с овсом. Среднее содержание крахмала в рационах первого периода в расчете на 100 кг ж. м. у групп «мюсли»

(385,5 ± 32,2 г) и «овёс» (355,9 ± 95,9 г) не имело существенных различий, но в комбикорме весь крахмал прошел термическую обработку в микронизаторе, т. е. имел декстринизированную (хорошо растворимую) и легче усваиваемую форму при меньшей потребности в ферменте. На что указывает и коэффициент переваримости крахмала у лошадей, получавших комбикорм (99,86 ± 0,19%), который был достоверно выше, чем у получавших овёс (96,48 ± 1,03%).

Более высокая концентрация магния в крови у лошадей из группы «мюсли», вероятно, вызвана дополнительным введением солей магния в составе премикса, входящего в состав комбикорма.

**Выводы.** Использование в рационах лошадей комбикормов, произведенных из микронизированного зерна, повышает переваримость сухого и органического вещества, сырого протеина и БЭВ в среднем на 10%; сырой клетчатки – на 12,5% и жира – на 7%. Содержание сырой клетчатки в рационах на уровне 18–22% не оказывает значительного влияния на переваримость питательных веществ рациона – как в рационах с комбикормом, так и с овсом. Но в сено-овсяных рационах выявлено снижение переваримости самой клетчатки при увеличении её количества в рационе. При использовании комбикорма отрицательного влияния повышения количества клетчатки в рационе на переваримость не отмечено.

Более высокие показатели переваримости рационов с комбикормом из микронизированного зерна позволяют использовать меньше концентратов, чем при использовании овса, сохраняя при этом достаточную обеспеченность лошади не только в энергии, но и протеине, содержание которого при сокращении нормы концентратов также снижается.

#### Список источников литературы

1. Емельяненко, А. Креатинин крови // Медпортал. URL: <https://medportal.ru/enc/analysis/blood/kreatinin-v-krovi/> (дата обращения: 01.08.2023).
2. Клиническая биохимия в диагностике болезней лошадей / Л. Ю. Карпенко, А. А. Бахта, А. И. Козицына и др. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины. – 2019. – 65 с.
3. Лебедев, П.Т., Усович, А.Т. Методы исследования кормов, органов и тканей животных / П. Т. Лебедев, А. Т. Усович. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 389 с.
4. Мемедейкин, В.Г. Способы расчета обменной энергии в кормах для лошадей / В. Г. Мемедейкин, В. В. Мемедейкин // Научное обеспечение конкурентоспособности племенного, спортивного и продуктивного коневодства в России и странах СНГ: сб. науч. тр. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию проф. С.С. Сергиенко. Ч. 2. – Дивово, 2007. – С. 63–81.
5. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А. П. Калашников, В. И. Фисинин, В. В. Щеглов [и др.]. – 3-е издание переработанное и дополненное. – Москва: Знание, 2003. – 456 с. – ISBN 5-94587-093-5.
6. Шараськина, О.Г. Кормление лошадей: учебно-методическое пособие / О. Г. Шараськина, Н. В. Пристач, Л. Н. Пристач. – СПб.: СПбГУВМ, 2021. – 82 с.
7. Disorders of the Urinary System // Equine Internal Medicine: Fourth Edition, 2017, pp. 888–990.
8. Drogoul C., Fombelle A., Julliard V. Feeding and microbial disorders in horses: 2: Effect of three hay: grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies // J. of Equ. Vet. Sci. – 2001. – V. 21(10), pp. 487–491. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70211-0](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70211-0).
9. Fombelle, A., Julliard V., Drogoul C., Emmanue J. Feeding and microbial disorders in horses: 1 – Effects of an abrupt incorporation of two levels of barley in a hay diet on microbial profile

- and activities // *J. of Equ. Vet. Sci.* – 2001. – Vol. 21, no. 9, pp. 439–445.  
[https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70018-4](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70018-4).
10. Galinelli, N., Wambacq, W., Broeckx, B.J.G., Hesta, M. High intake of sugars and starch, low number of meals and low roughage intake are associated with Equine Gastric Ulcer Syndrome in a Belgian cohort // *J.Anim. Physiol. Anim. Nutr.* – 2021; 105(2), pp.18–23.
  11. Galen, G., Olsen, E., Siwinska, N. Biomarkers of Kidney Disease in Horses: A Review of the Current Literature // *Animals*, 2022, Vol.12, P. 2678.
  12. Gronwall, R., Engelking, L. R. Effect of glucose administration on equine fasting hyperbilirubinemia // *Am.J.of Vet.res.* 1982. Vol. 43(5). pp. 801–803.
  13. Hoffman, R.M. Carbohydrate metabolism and metabolic disorders in horses. // *R. Bras. Zootec.* -2009.-V. 38. Pp. 270- 276.
  14. Julliard, V., De Fombelle, A., Varloud M. Starch digestion in horses: The impact of feed processing // *Livestock Science*, 2006, vol. 100(1). pp. 44–52.  
<https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.11.001>
  15. Julliard V., Grimm P., HORSE SPECIES SYMPOSIUM: The microbiome of the horse hindgut: History and current knowledge, // *J. of An. Sci.* 2016, V. 94(6), pp. 2262–2274.
  16. Meyer, H., Radicke, S., Kienzle, E., Wilke, S., Kleffken, D., Illenseer, M. Investigations on Preileal Digestion of Starch from Grain, Potato and Manioc in Horses // *J. of Vet. Med. Series A.* V.42(1-10), pp. 371–381.
  17. Potter, G.D. Digestion of starch in the small or large intestine of the equine. / G.D. Potter, F.F.Arnold, D.D. Householder, D.H. Hansen, K.M. Brown/ *European Conference of Horse Nutrition. Anais Hannover, Pferdeheilkunde.* 1992. Pp.107–111
  18. Rosenfeld, I., Austbø, D. Digestion of cereals in the equine gastrointestinal tract measured by the mobile bag technique on caecallycannulated horses // *Anim. Feed. Sci. Technol.* 2009. V.150(3–4). Pp. 249–258
  19. Silva R.H.P., de Rezende A.S.C., de Castro Alves N., da Silva Inácio D.F. Feed Processing and its Effects on Equine Nutrition // *J. of Vet. Sci.& Res.* 2016. V.1(3). 000113
  20. Tóth B., Auth A., Rompos, L., Bakos, Z. Effect of feed deprivation on selected parameters of lipid mobilisation and hepatic function in healthy Akhal Teke horses // *Equine. Vet. J.* 2018. Vol. 50. Pp. 98–103.
  21. ГОСТ ISO 6497-2014 Корма. Отбор проб. М.: Стандартинформ, – 2016. – 16 с.

### References

1. Emelianenko, A. Blood creatinine // *Medical Portal* URL: <https://medportal.ru/enc/analysis/blood/kreatinin-v-krovi/> (date of reference: 01.08.2023).
2. *Clinical biochemistry in the diagnosis of equine diseases* / L. Y. Karpenko, A. A. Bakhta, A. I. Kozitsyna, V. V. Kryukova, Karpenko L. Y., Bakhta A. A., Kozitsyna A. I. – St. Petersburg: St. Petersburg State Academy veterinary medicine, 2019. – 65 p.
3. Lebedev, P.T., Usovich, A.T. *Methods of research of animal feeds, organs and tissues* / P. T. Lebedev, A. T. Usovich. – 3 rd ed., reprint and additional – M.: Rosselkhoznadzor, 1976. – 389 p.
4. Memedeikin, V.G. *Methods of calculating the exchange energy in horse feed* / V. G. Memedeikin, V. V. Memedeikin // *Scientific support of the competitiveness of breeding, sports and productive horse breeding in Russia and CIS countries: Collection of scientific tr. scientific-practical conf., dedicated. To the 70th anniversary of Prof. S.S. Sergienko. Part 2.* – Divovo, 2007. pp. 63–81.
5. *Norms and rations of feeding of farm animals* / A. P. Kalashnikov, V. I. Fisinin, V. V. Shcheglov [et al.]. – 3rd edition revised and supplemented. – Moscow: Publishing House "Knowledge", 2003. – 456 p. – ISBN 5-94587-093-5.
6. Sharaskina, O.G. *Feeding horses: An educational and methodical manual* / O. G. Sharaskina, N. V. Pristach, L. N. Pristach. – St. Petersburg: SPbGUVU, 2021. – 82 p.

7. Disorders of the Urinary System // *Equine Internal Medicine: Fourth Edition*, 2017. Pp. 888–990.
8. Drogoul, C., Fombelle, A., Julliand, V. Feeding and microbial disorders in horses: 2: Effect of three hay: grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies // *J. of Equ. Vet. Sci.* 2001. – V.21(10). pp. 487–491. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70211-0](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70211-0).
9. Fombelle, A., Julliand, V., Drogoul, C., Emmanue, J. Feeding and microbial disorders in horses: 1 – Effects of an abrupt incorporation of two levels of barley in a hay diet on microbial profile and activities // *J. of Equ. Vet. Sci.* 2001. V. 21(9). Pp. 439–445. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70018-4](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70018-4).
10. Galinelli, N., Wambacq, W., Broeckx, B.J.G., Hesta, M. High intake of sugars and starch, low number of meals and low roughage intake are associated with Equine Gastric Ulcer Syndrome in a Belgian cohort // *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* – 2021; 105(2). pp. 18–23.
11. Galen, G., Olsen, E., Siwinska, N. Biomarkers of Kidney Disease in Horses: A Review of the Current Literature // *Animals.* – 2022. – Vol. 12. P. 2678.
12. Gronwall, R., Engelking, L.R. Effect of glucose administration on equine fasting hyperbilirubinemia // *Am.J.of Vet.res.* – 1982. – Vol. 43(5). Pp. 801–803.
13. Hoffman, R.M. Carbohydrate metabolism and metabolic disorders in horses. // *R. Bras. Zootec.* – 2009. – V. 38. pp. 270–276.
14. Julliand, V., De Fombelle, A., Varloud, M. Starch digestion in horses: The impact of feed processing // *Livestock Science.* – 2006. – Vol. 100 (1). Pp. 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.11.001>.
15. Julliand, V., Grimm, P., HORSE SPECIES SYMPOSIUM: The microbiome of the horse hindgut: History and current knowledge, // *J. of An. Sci.* – 2016. – V. 94(6), pp. 2262–2274.
16. Meyer, H., Radicke, S., Kienzle, E., Wilke, S., Kleffken, D., Illenseer, M. Investigations on Preileal Digestion of Starch from Grain, Potato and Manioc in Horses // *J. of Vet. Med. Series A.* – V.42(1–10). Pp. 371–381.
17. Potter, G.D. Digestion of starch in the small or large intestine of the equine. / G. D. Potter, F. F. Arnold, D. D. Householder, D. H. Hansen, K. M. Brown/ *European Conference of Horse Nutrition. Anais Hannover, Pferdeheilkunde.* – 1992. Pp.107–111.
18. Rosenfeld, I., Austbø, D. Digestion of cereals in the equine gastrointestinal tract measured by the mobile bag technique on caecally cannulated horses // *Anim. Feed. Sci. Technol.* – 2009. – Vol. 150 (3-4). Pp. 249–258.
19. Silva, R.H.P., de Rezende A.S.C., de Castro Alves N., da Silva Inácio D.F. Feed Processing and its Effects on Equine Nutrition // *J. of Vet. Sci. & Res.* – 2016. – Vol. 1 (3). 000113.
20. Tóth, B., Auth, A., Rompos, L., Bakos, Z. Effect of feed deprivation on selected parameters of lipid mobilisation and hepatic function in healthy Akhal Teke horses // *Equine. Vet. J.* – 2018. – Vol. 50. pp. 98–103.

#### Сведения об авторах

**Шараськина Ольга Геннадьевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры профессиональной аттестации и внедрения инноваций Академии менеджмента и агробизнеса, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>, SPIN-код: 8533-1419; e-mail: xmause@mail.ru.

**Алексеева Евгения Ивановна**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-7119-5103>, SPIN-код: 3988-8816; e-mail: alekseevaei@list.ru.

**Фисенко Анна Александровна**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, ORCID 0000-0002-0995-1334, SPIN-код: 8629-3697; e-mail: nerpa-2007@mail.ru.

#### Information about the authors

**Olga G. Sharaskina**, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor at the Department of Professional Certification and Innovation Implementation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>, SPIN-code: 8533-1419; e-mail: xmause@mail.ru

**Evgenia I. Alekseeva**, Doc. Sci. (Agric.), Professor at the Department of Large Animal Husbandry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-7119-5103>, SPIN-code: 3988-8816; e-mail: alekseevaei@list.ru.

**Anna A. Fisenko**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer at the Department of Large Animal Husbandry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint Petersburg, Russia, ORCID 0000-0002-0995-1334, SPIN-code: 8629-3697; e-mail: nerpa-2007@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 04.11.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.*

*The article was submitted 04.11.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.*

---

Научная статья

УДК 631.37

Код ВАК 4.3.1

doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-104-113

## ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОДУЛЬНОГО ТРАНСПОРТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О.Н. Дидманидзе<sup>1</sup>, Д.А. Москвичев<sup>1</sup> ✉,  
Р.Т. Хакимов<sup>2</sup>, А.М. Спиридонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,  
г. Москва, Россия

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

✉ moskvicev@rgau-msha.ru

**Реферат.** Одним из основных направлений в сельском хозяйстве является повышение технического потенциала. Оно может быть достигнуто благодаря модульному транспорту сельскохозяйственного назначения. Основными составляющими модульного автомобиля сельскохозяйственного назначения являются модуль кабины, рулевого управления и тяговый модуль. Для подтверждения результатов исследования потребовались экспериментальные данные автомобиля Scania R440 сельскохозяйственного назначения, который выступает в качестве объекта исследования, для работы в области надежности и эксплуатации модульного транспорта, а также подтверждение их достоверности. Целью исследования является оценка достоверности экспериментальных данных технического обслуживания перспективной сельскохозяйственной техники. Основными составляющими является техническое обслуживание и ремонта модульной сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе. Экспериментальные данные транспортных средств включают в себя: гаражный номер автомобиля, периодичность технического обслуживания, среднее количество отказов, находящееся в пределах от 39 до 61 ед., модульного транспорта в зависимости от среднего значения периодичности технического обслуживания на предприятии  $\approx 30000$  километров. Результатом исследования является линейная зависимость уравнения регрессии, в которой найдены коэффициенты регрессии и установлена графическая интерпретация уравнения. Значимость коэффициента корреляции, выраженная по критерию Стьюдента, показывает тесноту связи. Уравнение регрессии состоит из статистически данных отказов и периодичностей технического обслуживания. Показатели критерия Стьюдента характеризуют значимость коэффициентов регрессии. Индекс детерминации  $R=0,861$  составляет зависимость между отказами –  $x$  и периодичностью –  $y$ . Выявлено, что в исследуемом выражении на 86,1% изменение  $x$  влияет на изменение  $y$ . На основании вышеперечисленного сделан вывод, что модель является достоверной и адекватной, а экспериментальные данные могут применяться для дальнейших исследований. Решение вопросов, связанных с модульным транспортом, плодотворно воздействует на агропромышленный комплекс.

**Ключевые слова:** модуль, модульный транспорт сельскохозяйственного назначения, периодичность технического обслуживания, агропромышленный комплекс, оценка достоверности экспериментальных данных

**Цитирование:** Дидманидзе, О.Н., Москвичев, Д.А., Хакимов, Р.Т., Спиридонов А.М. Оценка достоверности экспериментальных данных технического обслуживания модульного транспорта сельскохозяйственного назначения // Известия Санкт-Петербургского

государственного аграрного университета – 2023. – № 5. – С. 104–113, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-104-113.

**Финансирование.** Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» (соглашение 075-15-2023-220).

## ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF EXPERIMENTAL DATA OF MAINTENANCE OF MODULAR AGRICULTURAL TRANSPORTATION

O.N. Didmanidze<sup>1</sup>, D.A. Moskvichev<sup>1</sup>✉,  
 R.T. Hakimov<sup>2</sup> A.M. Spiridonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy,  
 Moscow, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Pushkin, Saint Petersburg, Russia  
 ✉ moskvichev@rgau-msha.ru

**Abstract.** One of the main directions in agriculture is to increase technical potential. The increase can be achieved thanks to modular agricultural transport. The main components of a modular agricultural vehicle are the cabin module, steering module and traction module. To confirm the results of the study, experimental data from the Scania R440 agricultural vehicle, which acts as a research object, was required to work in the field of reliability and operation of modular transport, as well as confirmation of their reliability. The purpose of the study is to assess the reliability of experimental data on the maintenance of promising agricultural machinery. The main components are the maintenance and repair of modular agricultural machinery in the agro-industrial complex. Experimental vehicle data includes: vehicle garage number, maintenance frequency, average number of failures, ranging from 39 to 61 units, modular transport depending on the average maintenance frequency at the enterprise  $\approx 30,000$  kilometers. The result of the study is a linear dependence of the regression equation, in which the regression coefficients are found and a graphical interpretation of the equation is established. The significance of the correlation coefficient, expressed using the Student's test, shows the closeness of the relationship. The regression equation consists of failure statistics and maintenance intervals. Student's t-test indicators characterize the significance of regression coefficients. Determination index  $R = 0.861$ , is the relationship between failures –  $x$  and frequency –  $y$ . It was revealed that in the expression under study, a change in  $x$  affects a change in  $y$  by 86.1 %. Based on the above, it was concluded that the model is reliable and adequate, and experimental data can be used for further research. Solving issues related to modular transport has a fruitful effect on the agro-industrial complex.

**Keywords:** *module, modular transport for agricultural purposes, frequency of maintenance, assessment of the reliability of experimental data*

**Citation:** Didmanidze, O.N., Moskvichev, D.A., Khakimov, R.T., Spiridonov, A.M. (2023), 'Assessing the reliability of experimental data on the maintenance of modular agricultural transport', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, № 5, vol. 74, pp. 104–113, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-104-113.

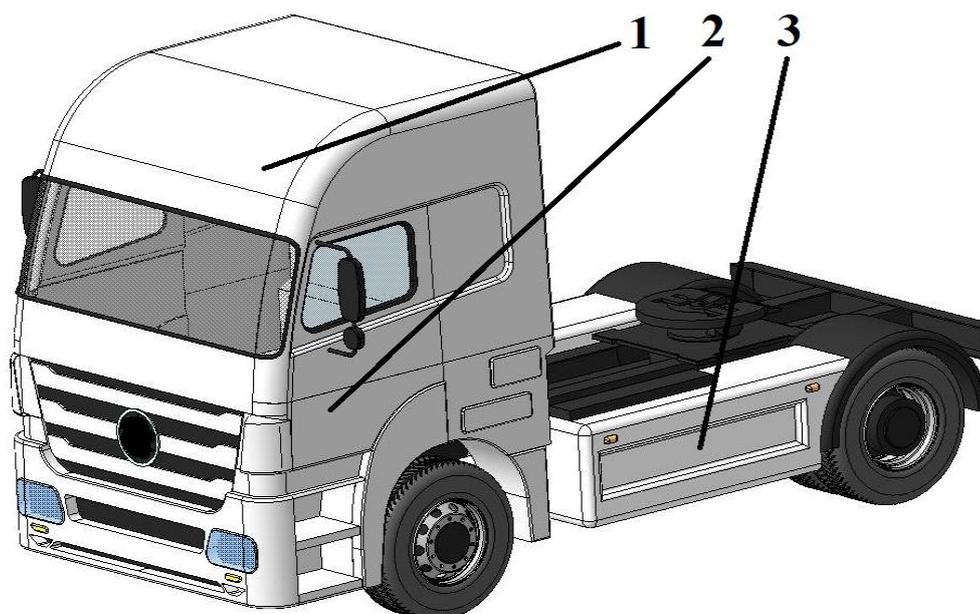
**Financing.** The work was carried out with funds from the University Development Program within the framework of the Priority 2030 Strategic Academic Leadership Program (agreement 075-15-2023-220).

**Введение.** Внедрение модульного транспорта сельскохозяйственного назначения является одним из важнейших направлений развития агропромышленного комплекса. Концепции модульных технологий позволяют проводить техническое обслуживание более эффективно. На сегодняшний день грузовой модульный автомобиль сельскохозяйственного назначения активно входит в нашу жизнь. Но имеется ряд условий, которые должны выполняться при эксплуатации такого транспорта [1]: повышение вместительности транспорта, уменьшение топлива, использование различных модулей. В целях улучшения качества модульного транспорта необходимо собрать экспериментальные данные и проверить их достоверность.

**Цель исследования** – оценка достоверности экспериментальных данных технического обслуживания модульного транспорта сельскохозяйственного назначения.

**Материалы, методы и объекты исследования.** В научно-технических трудах «модулем» названа система из элементов с параметрами, которые можно изменить, тем самым повышая функциональность основного механизма [2]. Модульным может быть автомобиль сельскохозяйственного назначения. Модуль кабины включает водительское место и систему управления транспортом. Механизм поворота входит в модуль рулевого управления. Тяговый модуль состоит из ведущих колес и силового агрегата. Также существует дополнительный грузовой модуль. Применение различных грузовых модулей позволяет перевозить неформатные сельскохозяйственные грузы. Особенностью модульного автомобиля является возможность оперативной замены модулей при техническом обслуживании и ремонте. Таким образом, повышается значение технической готовности автомобиля, что положительно влияет на экономическую эффективность агропромышленного предприятия, использующего подобный транспорт. Данный автомобиль может выполнять различные задачи агропромышленного комплекса. Технологическая схема простейшего модульного автомобиля представлена на рис. 1.

Для подтверждения эффективности модульного автомобиля решено провести эксперимент, который включает в себя сбор информации по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, использующихся на предприятии агропромышленного комплекса. Агропромышленные предприятия используют различные марки отечественных и зарубежных автомобилей: КАМАЗ, Scania, Volvo и т. д. Так как автомобиль выполнен на базе автомобиля сельскохозяйственного назначения Scania R440, то целесообразно использовать данные, характеризующие этот автотранспорт [4].



**Рисунок 1. Технологическая схема модульного автомобиля:  
 1 – модуль «кабины», 2 – модуль рулевого управления, 3 – тяговый модуль [3]  
 Figure 1. Technological diagram of a modular car, consisting of three modules:  
 1 – cabin «module», 2 – steering module, 3 – traction module [3]**

Экспериментальные данные по отказам автомобиля Scania R440 сельскохозяйственного назначения в зависимости от периодичности технического обслуживания на предприятии «Экспедишен компани» представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Количество отказов автомобиля в зависимости от периодичности технического обслуживания  
 Table 1. Number of vehicle failures depending on maintenance frequency**

№ Автомобиля	Пробег до ТО, км	Отказы, ед.
14	30015	39
23	30139	43
25	30141	43
28	30239	48
16	30286	48
25	30350	51
39	30387	54
18	30420	57
27	30478	59
31	30510	61
Среднее значение	30296	50

Номера автомобилей являются гаражными номерами на предприятии. Данные по пробегу до технического обслуживания (ТО) и по количеству отказов являются годовыми значениями. Можно сделать заключение о том, что своевременное выполнение технического обслуживания прямо пропорционально значениям отказов. Оценим достоверность экспериментальных данных, примем гипотезу о линейной зависимости отказов и от периодичности технического обслуживания на предприятии и воспользуемся регрессионным анализом [5]. Уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$y = b_1x + b_0, \quad (1)$$

где  $b_i$  – коэффициент регрессии [6].

В предполагаемых математических связях необходимо выявить коэффициенты регрессии и оценить их значимость. Достоверность модели и проверки адекватности являются неотъемлемой частью такой математической модели.

Коэффициенты регрессии:

$$C_{1,2} = \frac{\sum_{j=1}^l \varphi_{1,2}(\bar{x}_j) m_j \bar{y}_j}{\sum_{j=1}^s \varphi_{1,2}^2(\bar{x}_j) m_j}. \quad (2)$$

Индекс детерминации определяет точность подбора уравнения:

$$R = 1 - \frac{\sum(\bar{y} - y_x)^2}{\sum(\bar{y}_i - \bar{y})^2}. \quad (3)$$

Для проверки адекватности математической модели используется критерий Фишера (F-критерий), который рассчитывается по формуле [7]:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}. \quad (4)$$

Теснота связи обозначается линейным коэффициентом корреляции:

$$r_{x,y} = b_1 \cdot \frac{S(x)}{S(y)} = b_1 \cdot \frac{\sqrt{S^2(x)}}{\sqrt{S^2(y)}} = b_1 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}}{\sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}}. \quad (5)$$

где  $\bar{x}, \bar{y}$  – средние значения;  $n$  – количество опытов [8].

Расчетное значение критерия Стьюдента определяется по коэффициенту корреляции [9]:

$$t = r_{x,y} \frac{\sqrt{n - 1}}{\sqrt{1 - r_{x,y}^2}}. \quad (6)$$

Когда расчетное значение  $t$  больше табличного, оценивается взаимосвязь показателей.

**Результаты исследования.** Расчеты выполнены в программе Regress. При решении представленных выше зависимостей получаем уравнение регрессии периодичности технического обслуживания и отказов на предприятии:

$$y = 0,0452x - 1318,7. \quad (7)$$

По результатам исследований представлена основная характеристика отказов от периодичности технического обслуживания в таблице 2 [10].

Таблица 2. Сводная таблица результатов основной характеристики отказов от периодичности технического обслуживания

Table 2. Summary table of the results of the main failure characteristics of the maintenance intervals

Показатель	Значение
Коэффициент корреляции	0,902
Индекс детерминации	0,861
Табличное значение критерия Стьюдента	2,49
Табличное значение критерия Фишера	4,67
Расчетное значение критерия Фишера	54,33

В таком случае полученная зависимость представлена на рис. 2:



Рисунок 2. Взаимосвязь отказов автомобилей от периодичности технического обслуживания

Figure 2. Relationship between vehicle failures and maintenance intervals

Значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента представлена в табл. 3

[11].

Таблица 3. Значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента (1 – значимый, 0 – не значимый)  
Table 3. Significance of regression coefficients according to Student's test (1 – significant, 0 – not significant)

t-критерий	7,59	6,67
значимость	1	1

Теснота связи уравнения регрессии 0,902 – высокая. Так как значения критерия Стьюдента (7,59 и 6,67) больше, чем табличное значение – 1, они принимаются как достоверные и значимые. Показатель индекса детерминации (0,861, высокий) подтверждает зависимость между значениями отказов (y) и периодичности ТО Scania (x).

**Выводы.** Из сводной таблицы результатов основной характеристики отказов в зависимости от периодичности технического обслуживания **следует вывод о достоверности экспериментальных данных.** Установлено, что в исследуемой модели на 86,1% изменение x влияет на изменение y. Коэффициенты регрессии статически значимы. Таким образом, точность подбора математической модели высокая, а значения индекса детерминации и критерия Фишера для линейной функции  $F_p > F_{табл}$ . Свидетельствуют о том, что модель является достоверной и адекватной.

Приведенный регрессионный анализ показывает значимость эксперимента. Научная новизна такого исследования заключается в методическом подходе к сбору экспериментальных данных и проверке их достоверности. Для аналогов модульного транспорта, на базе которого выполнен модульный автомобиль, были собраны данные по отказам и периодичности технического обслуживания.

Можно подтвердить достоверность экспериментальных данных о техническом обслуживании модульного транспорта сельскохозяйственного назначения. Практическая значимость результатов исследования заключается в использовании подтвержденных достоверных статистических данных для дальнейшего исследования и внедрения модульного транспорта. Модульный автомобильный парк в агропромышленном предприятии является наиболее оптимальным. Исследования по техническому обслуживанию и ремонту модульного транспорта сельскохозяйственного назначения способствует эффективному развитию агропромышленного комплекса.

#### Список источников литературы

1. Абрамов, А.Н. Эксплуатационная надежность технических систем: учебное пособие / А. Н. Абрамов. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.
2. Высоцкий, М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М. С. Высоцкий, С. В. Харитончик, С. И. Кочетов. – Минск: Белорусская наука, 2011. – 392 с.
3. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: МФН, 2019. – 524 с.
4. Дидманидзе, О.Н. Управление техническими системами в условиях информационной неопределенности / В. В. Солдатов, Ю. А. Судник. – М.: Триада, 2010. – 316 с.
5. Москвичев, Д.А. Оценка свойств надежности при техническом обслуживании перспективных автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения / Д. А. Москвичев, О. В. Виноградов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 5-6 (86). – С. 96–103. – doi: 10.34286/1995-4646-2022-86-5-6-96-103.

6. Москвичев, Д.А. Методика определения периодичности технического обслуживания перспективных автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения / Д. А. Москвичев, О. В. Виноградов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета – 2022. – № 4 (64). – С. 112-117, doi: 10.31563/1684-7628-2022-64-4-112-117.
7. Москвичев, Д.А. Совершенствование методов технического обслуживания перспективных автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения: специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. А. Москвичев, 2023. – 250 с.
8. Шейнин, А.М. Основы технического обслуживания и эксплуатации автопоездов на АТП – М.: МИР, 2003. – 199 с.
9. Kristina Lekavičienė, Egidijus Šarauskis, Vilma Naujokienė, Sidona Buragienė, Zita Kriauciūnienė The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO2 emissions. Soil & Tillage Research 192 (2019) 95–102, doi.org/10.1016/j.still.2019.05.002.
10. Lysych M.N. Review of numerical methods for modeling the interaction of soil environments with the tools of soil tillage machines. Journal of Physics: Conference Series 1399 (2019) 044014, doi:10.1088/1742-6596/1399/4/044014.
11. Vinogradov, O.V., Moskvicev, D.A, Didmanidze, O.N., Parlyuk, E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. Indo American journal of pharmaceutical sciences, 2019, С. 5289-5292, doi: 10.5281/zenodo.2592821.

### References

1. Abramov, A.N. Operational reliability of technical systems: textbook / A. N. Abramov. – М.: MADI, 2019. – 120 p.
2. Vysotsky, M.S. Fundamentals of designing modular main road trains / M. S. Vysotsky, S. V. Kharitonchik, S. I. Kochetov. – Minsk: Belorusskaya Navuka, 2011. – 392 p.
3. Gnedenko B.V. Mathematical methods in reliability theory / B. V. Gnedenko, Yu. K. Belyaev, A. D. Solovyov – М.: MFN, 2019. – 524 p.
4. Didmanidze, O.N. Management of technical systems under conditions of information uncertainty / co-authors: V. V. Soldatov, Yu. A. Sudnik. – М.: Triada, 2010. – 316 p.
5. Москвичев, Д.А. Assessment of reliability properties during the maintenance of promising agricultural vehicles / D. A. Moskvicev, O. V. Vinogradov // International Technical and Economic Journal – 2022. – No. 5-6 (86). pp. 96 – 103, doi: 10.34286/1995-4646-2022-86-5-6-96-103.
6. Москвичев, Д.А. Methodology for determining the frequency of maintenance of promising agricultural vehicles / D. A. Moskvicev, O. V. Vinogradov // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University – 2022. – No. 4 (64), pp. 112 – 117, doi: 10.31563/1684-7628-2022-64-4-112-117.
7. Москвичев, Д.А. Improving methods of maintenance of promising agricultural vehicles: specialty 4.3.1 – Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. 2023. – 250 p.
8. Sheinin, A.M. Fundamentals of maintenance and operation of road trains at АТP. – М.: МIР, 2003. – 199 p.
9. Kristina Lekavičienė, Egidijus Šarauskis, Vilma Naujokienė, Sidona Buragienė, Zita Kriauciūnienė The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO2 emissions. Soil & Tillage Research 192 (2019) 95–102, doi.org/10.1016/j.still.2019.05.002.

10. Lysych M. N. Review of numerical methods for modeling the interaction of soil environments with the tools of soil tillage machines. *Journal of Physics: Conference Series* 1399 (2019) 044014, doi:10.1088/1742-6596/1399/4/044014
11. Vinogradov O.V., Moskvichev D.A, Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American journal of pharmaceutical sciences*. 2019. № 3, pp. 5289-5292, doi: 10.5281/zenodo.2592821.

### Сведения об авторах

**Дидманидзе Отари Назирович**, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры тракторов и автомобилей Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», Москва, Россия, ORCID 0000-0003-2558-0585, SPIN-код: 4645-3145; e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

**Москвичев Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, ассистент кафедры тракторов и автомобилей Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», Москва, Россия, ORCID 0009-0002-7082-4876, SPIN-код: 3787-0273; e-mail: moskvichev@rgau-msha.ru.

**Хакимов Рамиль Тагирович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей, тракторов и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, ORCID 0000-0003-4858-3586, SPIN-код: 7784-6537; e-mail: haki7@mail.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», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, ORCID 0000-0003-1452-6698, SPIN-код: 5030-1241; e-mail: anatolij-spiridonov@yandex.ru.

### Information about the authors

**Otari N. Didmanidze**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doc. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Tractors and Automobiles Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazev.", Moscow, Russia, ORCID 0000-0003-2558-0585, SPIN-code: 4645-3145; e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

**Dmitry A. Moskvichev**, Cand. Sci. (Eng.), Assistant of the Department of Tractors and Automobiles Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazev.", Moscow, Russia, ORCID 0009-0002-7082-4876, SPIN-code: 3787-0273; e-mail: moskvichev@rgau-msha.ru.

**Ramil T. Khakimov**, Doc. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University.", Pushkin, Saint Petersburg, Russia, ORCID 0000-0003-4858-3586, SPIN-code: 7784-6537; e-mail: haki7@mail.ru.

**Anatoly M. Spiridonov**, Doc. Sci. (Agric.), Associate Professor, 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", Pushkin, Saint Petersburg, Russia, ORCID 0000-0003-1452-6698, SPIN-code: 5030-1241; e-mail: anatolij-spiridonov@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 after publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 621.31.03

Код ВАК 4.3.2

doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-113-120

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОГРАММЕ SIMINTECH

Н.Ю. Курченко<sup>1</sup> ✉, Н.С. Баракин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина,  
Краснодар, Россия

✉ kalya1389@gmail.com

**Реферат.** Распространенным понятием в последние годы стало «точное земледелие» – концепция управления сельскохозяйственным предприятием, которая использует различные цифровые решения, в том числе и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для измерения, наблюдения и реагирования на изменчивость, обнаруженную в культурах [5]. Использование потенциала беспилотной авиации в сельском хозяйстве позволяет существенно уменьшить трудозатраты за счет сокращения рутинной работы персонала. В последнее десятилетие идет активное развитие беспилотной авиации. Рынок постоянно пополняется новыми моделями с более совершенными характеристиками и материалами. Применяются различные конструкции, находят новые области применения и разрабатываются новые методики. Повышается квалификация персонала, обслуживающего БПЛА, вокруг данной технологии создается целая инфраструктура. Основным сдерживающим фактором развития на сегодняшний день – ограничение емкости аккумуляторной батареи, как следствие – сокращение времени полета. Грузоподъемность современных БПЛА достигает 70 кг, что позволяет им конкурировать с наземной техникой, увеличивая при этом эффективность работ, что в последствии позитивно сказывается на технико-экономических и экологических параметрах производства. Широкий круг выполняемых задач подразумевает различный режим работы автономного источника для необходимой дозарядки АКБ беспилотных летательных аппаратов. Моделирование системы «автономный источник – нагрузка» в виде зарядного устройства для АКБ в программном комплексе SimInTech позволяет оценить энергопотребление и рассмотреть режим работы генератора. Имитационная компьютерная модель позволяет задавать с помощью блока программирования различные режимы дозарядки АКБ дронов и получать электрические выходные параметры генератора.

**Ключевые слова:** БПЛА, автономный источник, зарядное устройство, компьютерная модель

**Цитирование.** Курченко, Н.Ю., Баракин, Н.С. Моделирование режимов работы автономного источника для БПЛА в программе SimInTech // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 113-120, doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-113-120.

## SIMULATION OF THE OPERATING MODES OF AN AUTONOMOUS SOURCE FOR UAVS IN THE SIMINTECH PROGRAM

N.Y. Kurchenko<sup>1</sup> ✉, N.S. Barakin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia;

✉ kalya1389@gmail.com

**Abstract.** A common concept in recent years has become «precision farming» – the concept of managing an agricultural enterprise that uses various digital solutions, including unmanned aerial vehicles (UAVs) to measure, monitor and respond to variability found in crops [5]. The use of the potential of unmanned aircraft in agriculture can significantly reduce labor costs by reducing the routine work of personnel. The last decade has seen the active development of unmanned aircraft. The market is constantly updated with new models with more advanced characteristics and materials. Various designs are used, in addition, new areas of application are being found and new application methods are being developed. The qualification of personnel servicing UAVs is being improved, a whole infrastructure is being created around the technology. The main limiting factor of development today is the limitation of the battery capacity and, as a consequence, the reduction of flight time, despite the fact that the payload capacity of modern UAVs reaches up to 70 kg, which allows them to compete with ground-based equipment, while increasing the efficiency of work, which subsequently has a positive effect on the technical and economic parameters of production and environmental. A wide range of tasks implies a different mode of operation of an autonomous source for the necessary recharging of the battery of unmanned aerial vehicles. Simulation of the autonomous source – load system in the form of a battery charger in the SimInTech software package allows you to estimate energy consumption and consider the operating mode of the generator. The simulation computer model allows you to set various modes of charging the battery of drones with the help of the programming unit and obtain the electrical output parameters of the generator.

**Keywords:** UAV, autonomous source, charger, computer model

**Citation.** Kurchenko N.Yu., Barakin N.S. (2023), "Simulation of the operating modes of an autonomous source for UAVs in the SimInTech program", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, No. 5 (74), pp. 113–120, doi: 10.24412/2078-1318-2023-5-113-120.

**Введение.** Согласно распоряжению от 21 июня 2023 г. № 1630-р, отрасль беспилотной авиации является развивающейся, а сферы ее использования непрерывно расширяются. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют существенно снизить трудозатраты при выполнении сельскохозяйственных операций в труднодоступных местах или после выпадения осадков, когда наземная техника не может зайти в поле [5]. БПЛА в сельском хозяйстве используются для дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений; позволяют исследовать текущее состояние поля на наличие очагов вредителей и сорной растительности, произвести осмотр объектов инженерной инфраструктуры и др. [4, 7].

**Цель исследования** – разработка имитационной компьютерной модели автономного источника питания электрооборудования БПЛА для исследования его режима работы и получения нагрузочной характеристики.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Существенным сдерживающим фактором широкого применения БПЛА является наличие недостатков, связанных с использованием литий-ионных аккумуляторных батарей (АКБ), а именно – с ограниченным временем работы и необходимостью их частой зарядки. Хотя емкости батарей уже на сегодняшний день хватает на продолжительность полета более 1 ч., все же в большинстве случаев большая емкость АКБ приводит к увеличению веса БПЛА, поэтому емкость АКБ

рассчитана на среднюю продолжительность полета 15–20 минут [2]. Стремительное развитие беспилотной авиации выявило проблему нормирования режимов и способов использования БПЛА в сельском хозяйстве. Поэтому актуальной научной задачей является определение энергоэффективных и в тоже время безопасных режимов работы БПЛА и разработка полетного задания для решения конкретных задач в сельскохозяйственных процессах.

Чаще всего пилотное задание для БПЛА длится дольше 15–20 мин., поэтому предусматривают замену АКБ при посадке. Разряженную АКБ заряжают непосредственно в поле зарядным устройством (ЗУ), предназначенным для эксплуатации конкретного БПЛА. Производителем рекомендуется использование автономного источника, как правило, одной фирмы. Например, для зарядки АКБ БПЛА DJI Agras T30 производителем рекомендуется использование автономного генератора DJI D9000i, который имеет двухканальный зарядный выход с поддержкой последовательного режима восстановления, т. е. способен производить непрерывный заряд АКБ для уменьшения или исключения простоя дронов, для чего необходимо иметь запасные АКБ. Современные зарядные устройства (DJI CHX503-3500) имеют на входе корректор коэффициента мощности, из-за чего коэффициент мощности в процессе заряда АКБ достаточно высокий (близок к 1), а коэффициент несинусоидальности тока низкий (не превышает 3,74%), но стоимость этого устройства довольно высока [2, 8]. На практике в качестве автономного источника как более дешевый вариант используют серийные автономные источники электроэнергии с синхронным генератором соизмеримой мощности.

Проектирование системы автономного источника (зарядное устройство – АКБ) представляет определенную сложность, что связано с построением системы дифференциальных уравнений, описывающих каждый узел. Программный комплекс SimInTech за счет библиотеки блоков позволяет создать имитационную компьютерную модель (ИКМ), которая визуально представляет принципиальную электрическую схему. Моделирование режимов работы автономного источника и зарядного устройства для БПЛА позволяет рассмотреть загрузку генератора и определить энергозатраты (на рис. 1 представлена ИКМ автономного источника для БПЛА).

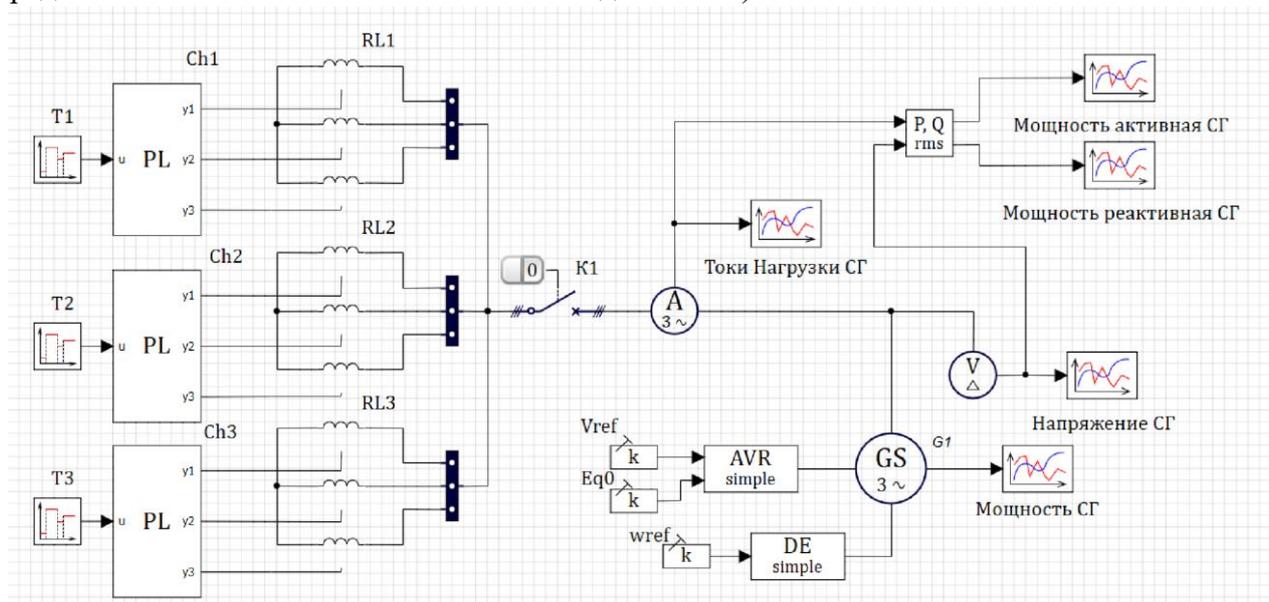


Рисунок 1. Имитационная компьютерная модель автономного источника для БПЛА (модель выполнена в программе SimInTech)

Figure 1. Simulation computer model of an autonomous source for UAVs (the model is made in the SimInTech program)

В SimInTech блок синхронного генератора («ЭЦД – Генератор синхронный») описывается дифференциальными уравнениями Парка-Горева с преобразованием от abc координат кdq:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_d = \omega_0 \int \left( u_d + \frac{R_s}{X_{\sigma s}} \cdot (\Psi_{ad} - \Psi_d) + \omega \Psi_q \right) dt; \quad \Psi_q = \omega_0 \int \left( u_q + \frac{R_s}{X_{\sigma s}} \cdot (\Psi_{aq} - \Psi_q) - \omega \Psi_d \right) dt; \\ \Psi_{1d} = \omega_0 \int \left( \frac{R_{1d}}{X_{\sigma 1d}} \cdot (\Psi_{ad} - \Psi_{1d}) \right) dt; \quad \Psi_{1q} = \omega_0 \int \left( \frac{R_{1q}}{X_{\sigma 1q}} \cdot (\Psi_{aq} - \Psi_{1q}) \right) dt; \\ \Psi_{ad} = X_{MD} \int \left( \frac{\Psi_d}{X_{\sigma s}} + \frac{\Psi_{1d}}{X_{\sigma 1d}} + \frac{\Psi_f}{X_{\sigma f}} \right) - \frac{\Delta E_1}{X_{ad}} X_{MD}; \quad \Psi_{aq} = X_{MQ} \int \left( \frac{\Psi_q}{X_{\sigma s}} + \frac{\Psi_{1q}}{X_{\sigma 1q}} \right); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_j} (M_t - M_e) = \frac{1}{T_j} (M_t - (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d)); \quad \Psi_f = \frac{\omega_0 R_f}{X_{ad}} \int \left( u_f + \frac{X_{ad}}{X_{\sigma f}} \cdot (\Psi_{ad} - \Psi_f) \right) dt. \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_{ad}, \Psi_{aq}$  – проекции векторов потокосцепления в зазоре и потокосцепления реакции статора на оси dq;

$R_s$  – активное сопротивление обмотки статора генератора;

$X_{\sigma s}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора генератора;

$\omega$  – частота вращения ротора генератора;

$\omega_0$  – частота вращения ротора генератора;

$u_f$  – напряжение обмотки возбуждения;

$\Psi_f, \Psi_{1d}, \Psi_{1q}$  – потокосцепления обмотки возбуждения и демпферных контуров;

$R_f, R_{1d}, R_{1q}$  – активные сопротивления обмотки возбуждения и демпферных контуров;

$X_{\sigma f}, X_{\sigma 1d}, X_{\sigma 1q}$  – индуктивные сопротивления рассеяния обмотки возбуждения и демпферных контуров;

$T_j$  – постоянная инерции турбоагрегата;

$M_t$  – момент турбины;

$M_e$  – электромагнитный момент.

В качестве приводного двигателя в ИКМ используется блок «Двигатель дизельный (type simple model)» DE, основанный на ПИ-регуляторе скорости с уставкой по скорости  $\omega_{REF}$ . Регулирование напряжения реализовано блоком «система возбуждения (type simple model)» AVR, который является корректором напряжения и моделируется апериодическим звеном первого порядка. Выходной сигнал корректора напряжения складывается с напряжением начального возбуждения  $E_{q0}$ , формируя входной сигнал для системы возбуждения EFE. Выходным сигналом модели является напряжение возбуждения EFD. Процесс заряда АКБ с помощью ЗУ возможно представить в виде регулируемой RL-нагрузки. В ИКМ рассматривается процесс последовательного заряда трех АКБ, которые представлены блоками «обобщенная цепь» RL1-3. Потребление электроэнергии в процессе заряда АКБ непостоянно, поэтому функцию изменения нагрузки как изменение активно-индуктивного сопротивления можно реализовать с помощью блока программирования PL. Режим работы заряда АКБ реализуется блоками «кусочно-постоянная» T1-T3. В ИКМ используются следующие допущения: в течение полета АКБ полностью разряжаются; коэффициент мощности равен 1 ЗУ.

**Результаты исследований.** Рассмотрим работу ИКМ автономного источника для БПЛА на примере внесения комплексных гербицидов для пшеницы на поле площадью 160 Га. Использовались два БПЛА типа DJI Agras T30, высота полета – 3 м, ширина захвата – 9 м, время одного полета составляет 10 мин., производительность одного БПЛА – 3,5 га/полет. Для каждого БПЛА применялись три батареи: две находились на зарядке, а одна использовалась БПЛА. Так как коэффициент мощности ЗУ близок к 1, индуктивность в блоках RL1-3 отсутствует. В ИКМ рассматривается ЗУ типа DJI CHX503-3500, в блок PL заложена функция изменения блоков RL1-3, приведенная в статье [2] (рис. 2).

$$\begin{cases} R(t) = 17,92 - 10,51 \cdot t, & t < 0,17 \text{ ч;} \\ R(t) = 16,1 \cdot e^{43,86(t-0,17)}, & t > 0,17 \text{ ч;} \end{cases} \quad (2)$$

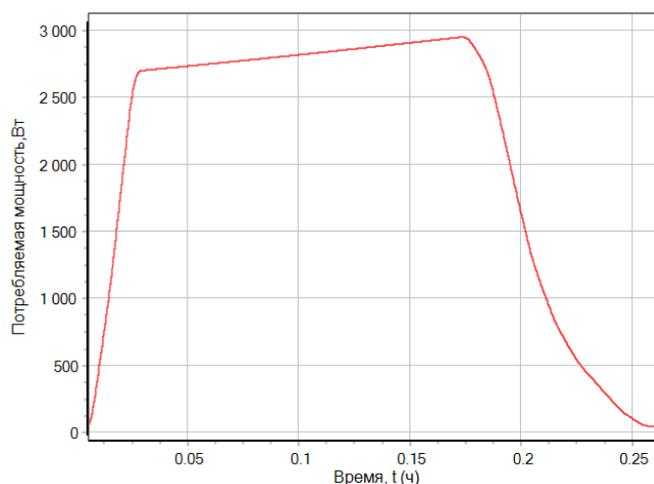


Рисунок 2. График потребляемой мощности при зарядке одной АКБ БПЛА в течение времени t  
 Figure 2. Graph of power consumption when charging one UAV battery over time t

Для настройки блоков «Двигатель дизельный (type simple model)» и «ЭЦД – Генератор синхронный» используем параметры генератора автономного источника A-ipower AD9500TEA той же мощности 9 кВА, что и многофункциональный инверторный генератор DJI D9000I. В ИКМ использованы стандартные настройки блока «Двигатель дизельный (type simple model)», а настройки блока «ЭЦД – Генератор синхронный» определены согласно паспортным данным синхронного генератора (номинальная мощность – 380 В, номинальная мощность – 9 кВА, номинальный коэффициент мощности – 0,8, номинальная скорость вращения – 1500 об/мин, номинальная частота – 50 Гц).

На практике время полета может быть существенно меньше 10 мин., оно зависит от нескольких факторов. Например, выбирается оптимальное стационарное место посадки, где происходит замена АКБ и заправка БПЛА раствором гербицида. Очевидно, что БПЛА необходимо преодолеть разные расстояния при полетах для опрыскивания всего поля. Кроме того, операторы стараются вернуть БПЛА для замены АКБ при их разряде до 20–30% от емкости для исключения аварийных ситуаций. Таким образом, для непрерывной работы БПЛА необходимо использовать 3 АКБ. Результатом моделирования является нагрузочная диаграмма автономного источника для БПЛА, которая приведена на рис. 3.

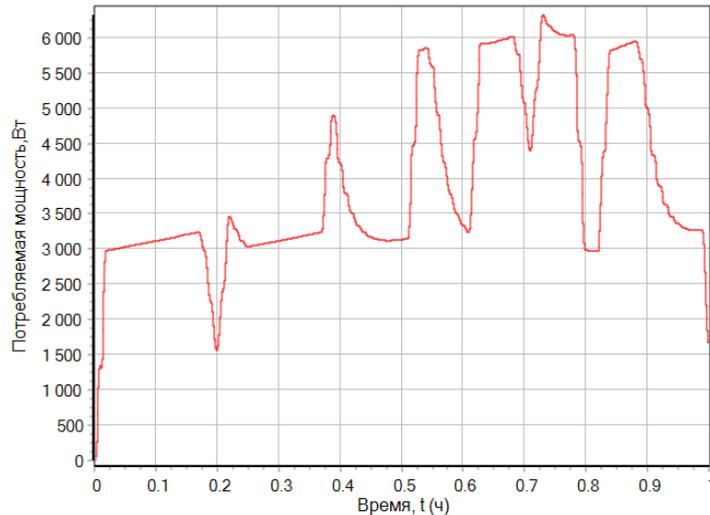


Рисунок 3. График потребляемой мощности при зарядке АКБ БПЛА в течение 1 часа  
Figure 3. Graph of power consumption when charging the UAV battery for 1 hour

График потребляемой мощности (рис. 3) представляет собой нагрузочную диаграмму автономного источника: максимальная активная мощность составляет 6326 Вт, средняя активная мощность – 3930 Вт, при этом за час персонал обеспечивает замену АКБ БПЛА до 6 раз, при этом возможен одновременный заряд двух АКБ.

ИКМ позволяет получить данные для расчета расхода количества топлива для автономного источника за необходимый период времени, которое определяется по известной формуле [3]:

$$Q_T = G_T \cdot P_n \cdot T, \quad (3)$$

где  $G_T$  – удельный расход топлива (0,25 кг/кВт·ч для дизельного генератора, 0,35 для бензогенератора);

$T$  – время работы, ч.;

$P_n$  – потребляемая мощность, Вт.

Потребляемую электроэнергию  $W_n$  ( $P_n T$ ) в ИКМ можно получить с помощью блоков «ЭЦ – Среднее значение за период» или «Интеграл от табличной функции» (на рис. 1 не показаны).

Расчет по формуле (3) показал, что при потреблении электроэнергии 3,93 кВт/ч количество дизельного топлива для автономного источника составит 0,98 л, соответственно, для заряда АКБ БПЛА в течение одной смены необходимо 7,86 л. Поле в 165 Га обрабатывается в течение одной смены двумя БПЛА, поэтому расчетное потребление необходимого количества дизельного топлива составляет 15,72 л. Согласно формуле (3) необходимое потребление бензина составит 22,4 л. На практике потребление топлива (бензина) составило 25 л. Расхождение теоретических данных с реальными в 8,9% возможно объяснить погрешностью в расчетах. Кроме того, возможно случайное включение электроприемников [1], т. е. погрешность в расчетах может быть связана с дополнительным потреблением неучтенных электроприемников (например, заряд систем управления БПЛА или питания насосных установок).

**Выводы.** Таким образом, разработанная ИКМ автономного источника для БПЛА позволяет рассматривать режимы работы автономного источника с синхронным генератором

с построением нагрузочной характеристики (рис. 3). На основании полученной характеристики возможно рассчитать необходимое количество топлива, оценить пиковое потребление электроэнергии и необходимую мощность генератора. Так, для внесения комплексных гербицидов на поле пшеницы площадью 160 Га необходим автономный источник мощностью 9 кВА для питания трех постов заряда АКБ, обеспечивающих непрерывный процесс работы двух БПЛА. При этом необходимый объем топлива составит 22,4 л (бензина), что сходится с реально полученными данными – 25 л (погрешность расчетов составила 8,9%).

#### Список источников литературы

1. Баракин, Н.С. Анализ электрооборудования мобильной почвенно-экологической лаборатории и его вероятной мощности / Н. С. Баракин, Е. Е. Баракина // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 1(5). – С. 85–95.
2. Баракин, Н.С. Исследование зарядных устройств для БПЛА / Н. С. Баракин, С. В. Оськин, И. А. Кулаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 188. – С. 1–9. – DOI 10.21515/1990-4665-188-001. – EDN OSYHXU.
3. Лукутин, Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 128 с.
4. Труфляк, Е.В. Современное состояние точного сельского хозяйства / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 69. – С. 372–376. – DOI 10.21515/1999-1703-69-372-376.
5. Труфляк, Е.В. Оценка готовности регионов к внедрению цифровых технологий в сельское хозяйство / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2019. – № 10 (180). – С. 22–26.
6. AI meets UAVs: A survey on AI empowered UAV perception systems for precision agriculture // *Neurocomputing*, 2023. vol. 518, pp. 242–270.
7. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution / Y. Meng, J. Su, J. Song, W.-H. Chen, Y. Lan // *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, vol. 170, 105282.
8. Spatio-temporal monitoring of wheat yellow rust using UAV multispectral imagery /j. Su, C. Liu, X. Hu, X. Xu, L. Guo, W.-H. Chen // *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019. v. 167. 105035.
9. Vertical distribution and vortex structure of rotor wind field under the influence of rice canopy // *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, vol. 159, pp. 140–146.

#### References

1. Barakin, N.S. Analysis of electrical equipment of the mobile soil-ecological laboratory and its probable capacity / N. S. Barakin, E. E. Barakina // *Agrotechnics and energy supply*, 2015, № 1 (5), pp. 85–95.
2. Barakin, N.S. Research of chargers for UAVs / N. S. Barakin, S. V. Oskin, I. A. Kulakov // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2023, No. 188, pp. 1–9. – DOI 10.21515/1990-4665-188-001. – EDN OSYHXU.
3. Lukutin, B.V. Power supply systems with wind and solar power plants: textbook. manual / B. V. Lukutin, I. O. Muravlev, I. A. Plotnikov. – Tomsk: Polytechnic University, 2015, 128 p.
4. Truflyak, E.V. The current state of precision agriculture / E. V. Truflyak, N. Y. Kurchenko // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2017, No. 69, pp. 372–376. – DOI 10.21515/1999-1703-69-372-376.

5. Truflyak, E.V. Assessing the readiness of regions to implement digital technologies in agriculture / E. V. Truflyak, N. Yu. Kurchenko // Bulletin of the Samara State Economic University, 2019, No. 10 (180), pp. 22–26.
6. AI meets UAVs: A survey on AI empowered UAV perception systems for precision agriculture // Neurocomputing, 2023, vol. 518, pp. 242–270.
7. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution / Y. Meng, J. Su, J. Song, W.-H. Chen, Y. Lan // Computers and Electronics in Agriculture, 2020, vol. 170. 105282.
8. Spatio-temporal monitoring of wheat yellow rust using UAV multispectral imagery /j. Su, C. Liu, X. Hu, X. Xu, L. Guo, W.-H. Chen // Computers and Electronics in Agriculture, 2019, v. 167. 105035.
9. Vertical distribution and vortex structure of rotor wind field under the influence of rice canopy // Computers and Electronics in Agriculture. 2019, vol. 159, pp. 140–146.

#### Сведения об авторах

**Курченко Николай Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», Краснодар, <http://orcid.org/0000-0002-9175-8102>, SPIN-код: 8688-8320, Scopus author ID: 57209800503, Researcher ID: Q-4953-2017; e-mail: kalya1389@gmail.com.

**Баракин Николай Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических машин и электропривода, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», Краснодар, <http://orcid.org/0009-0000-5086-2360>, SPIN-код: 2129-5026, Scopus author ID: 57200150182, Researcher ID: P-4120-2017; e-mail: barakin85@mail.ru.

#### Information about the authors

**Kurchenko Nikolay Yuryevich**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-9175-8102>, SPIN-code 8688-8320, Scopus author ID: 57209800503, Researcher ID: Q-4953-2017; e-mail: kalya1389@gmail.com.

**Barakin Nikolay Sergeevich**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Machines and Electric Drive, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar, Russia, <http://orcid.org/0009-0000-5086-2360>, SPIN-code: 2129-5026, Scopus author ID: 57200150182, Researcher ID: P-4120-2017; e-mail: barakin85@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 11.10.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 10.12.2023.*

*The article was submitted 11.10.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 10.12.2023.*

Научная статья  
УДК 621.316.13  
Код ВАК 4.3.2  
doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-121-139

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ОБ ОТКЛЮЧЕНИЯХ

А.М. Исупова<sup>1</sup>, В.Я. Хорольский<sup>2</sup>, М.А. Мастепаненко<sup>1</sup> ✉, А.П. Епифанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия  
✉ mma\_26@inbox.ru

<sup>2</sup>Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Санкт-Петербург, Россия

**Реферат.** Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на надежность электроснабжения сельских потребителей, является реализуемая система эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей. В процессе эксплуатации сельские электрические сети подвергаются различного рода воздействиям, отрицательно влияющим на их работоспособное состояние. Своевременно проводимые мероприятия в рамках эксплуатационного обслуживания обеспечивают возможность выполнять основное назначение сельских электрических сетей по бесперебойному электроснабжению потребителей. Основными индикаторами удовлетворительно функционирующей системы эксплуатационного обслуживания являются показатели эксплуатационной надежности, к которым в первую очередь относятся параметр потока отключений и среднее время восстановления электроснабжения. Кроме единичных показателей эксплуатационной надежности достаточно полно уровень технического состояния электрических сетей может быть охарактеризован комплексным показателем – коэффициентом технического использования. Достоверная информация о количественных показателях надежности позволяет выявить узкие места в системе эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей и наметить мероприятия для ее совершенствования. Отличительной особенностью расчетов показателей эксплуатационной надежности в сельских электрических сетях является уникальность каждого из рассматриваемых объектов с точки зрения принятых схемно-конструктивных решений, типа используемых элементов в сетях, их технического состояния. В статье выполнено исследование показателей эксплуатационной надежности на основе статистических данных об отключениях для нескольких районов Северо-Кавказского региона. Показатели эксплуатационной надежности, а также закон распределения такой случайной величины, как продолжительность отключений, в рассматриваемых районах отличаются, что подтверждает целесообразность проведения таких расчетов непосредственно для каждого отдельно взятого района электрических сетей.

**Ключевые слова:** показатели надежности, эксплуатация, сельские электрические сети

**Цитирование.** Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 121–139, doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-121-139.

## ASSESSMENT OF OPERATIONAL RELIABILITY OF RURAL ELECTRIC NETWORKS BY STATISTICAL DATA ON OUTAGES

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,  
Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** One of the most significant factors affecting the reliability of power supply to rural consumers is the implemented system of operational maintenance of rural electric networks. In the process of operation, rural electric networks are exposed to various kinds of impacts that negatively affect their working condition. Timely measures carried out within the framework of operational maintenance provide an opportunity to fulfill the main purpose of rural electric networks for uninterrupted power supply to consumers. The main indicators of a satisfactorily functioning maintenance system are operational reliability indicators, which primarily include the outage flow parameter and the average power supply recovery time. In addition to individual indicators of operational reliability, the level of technical condition of electrical networks can be characterized sufficiently fully by a complex indicator – the coefficient of technical use. Reliable information on quantitative reliability indicators allows us to identify bottlenecks in the system of operational maintenance of rural electric networks and outline measures for its improvement. A distinctive feature of the calculations of operational reliability indicators in rural electric networks is the uniqueness of each of the objects under consideration from the point of view of the adopted circuit design solutions, the type of elements used in the networks, their technical condition. The article presents a study of operational reliability indicators based on statistical data on outages for several districts of the North Caucasus Region. It is shown that the indicators of operational reliability, as well as the distribution law of such a random variable as the duration of disconnections, differ in the considered areas, which confirms the expediency of carrying out such calculations directly for each individual area of electrical networks.

**Keywords:** *reliability indicators, operation, rural electrical networks*

**Citation.** Isupova, A.M., Khorolskiy V.Ya and Mastepanenko, M.A., Epifanov. A.P. (2023), "Assessment of operational reliability of rural electric networks by statistical data on outages", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 121–139. (In Russ.), doi: 10.24411/2078-1318-2023-5-121-139.

**Введение.** Основное целевое назначение сельских электрических сетей сводится к бесперебойной подаче электроэнергии требуемого количества и качества во всех предусмотренных режимах использования сетей. Такая задача может быть выполнена только при достаточно высоком уровне надежности электросетевого оборудования. Применительно к электроэнергетическим объектам действующие нормативные документы [1, 2] рассматривают несколько ее видов: проектная, оперативная, эксплуатационная и т. д.

Поскольку основной задачей электросетевых организаций является эксплуатационное обслуживание объектов, прежде всего обратим внимание на эксплуатационную надежность. Эксплуатационная надежность электрических сетей непосредственно связана с уровнем надежности элементов электросетевого оборудования и принятой системой их обслуживания и ремонта.

Для характеристики такого свойства электросетевого оборудования, как надежность, используется ряд показателей [3]. Применительно к сельским электрическим сетям

основными эксплуатационными показателями надежности следует считать показатели безотказности и восстанавливаемости, а также комплексные показатели – коэффициент готовности и коэффициент технического использования. Значения этих показателей оценивают непосредственно по данным эксплуатации электрических сетей; они позволяют:

- судить о надежности элементов электрических сетей в условиях эксплуатации, определять целесообразность и эффективность мероприятий по повышению надежности и совершенствованию системы эксплуатационного обслуживания [4, 5, 6, 7];

- более четко организовывать работу подразделений районов электрических сетей (РЭС) и определять потребное количество обслуживающего персонала и техники [8, 9];

- формировать необходимый и достаточный резерв оборудования, материалов, запасных частей, что в конечном счете влияет на способность сельских электрических сетей поддерживать бесперебойное питание узлов нагрузки (отдельных потребителей или их групп) [10, 11];

- приводить научно обоснованные данные о реальном уровне надежности электросетевого оборудования в годовых отчетах РЭС.

В последние годы наметилась тенденция по использованию зарубежной практики оценки надежности электрических сетей применительно к отечественным объектам с помощью показателей надежности оказываемых услуг с помощью показателя средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии на точку поставки (P<sub>saidi</sub>) и показателя средней частоты прекращения передачи электрической энергии на точку поставки (P<sub>saifi</sub>) [12]. Основным документом, регламентирующим порядок расчета показателей надежности оказываемых услуг, является приказ. В документе определен порядок расчетов показателей надежности, также обязательным требованием приказа является положительная динамика изменений значений показателей.

Цель таких подвижек связана с приближением отечественной энергетики к мировым стандартам и соответствия проводимых расчетов надежности требованиям Международной электротехнической комиссии.

Вместе с тем необходимо отметить, что данные показатели используются в основном для целей регулирования тарифов на услуги по передаче электрической энергии, кроме этого, при их количественной оценке необходимо знание числа отключаемых объектов, что весьма проблематично в условиях принятой в нашей стране системы обслуживания сетей. Отсюда напрашивается рекомендация о целесообразности использования такого методического подхода расчетов надежности в первую очередь при решении вопросов энергосбытовой деятельности, а не рассмотрения эксплуатационных задач.

Отличительной особенностью проведения расчетов эксплуатационной надежности в отечественных электрических сетях является уникальность каждого из рассматриваемых объектов с точки зрения принятых схемно-конструктивных решений, типа используемых элементов в сетях, их технического состояния. Все это может привести к существенной разнице в количественных значениях показателей надежности. Оценка надежности должна выполняться для каждого конкретного электросетевого хозяйства, а использование усредненных данных не всегда оправдано.

Другим немаловажным фактором при решении таких задач является наличие соответствующего математического аппарата для анализа накопленных статистических материалов об отказах и повреждениях оборудования, ориентированного на использование

компьютерных технологий. Проведенное обследование состояния дел с оценкой эксплуатационной надежности в ряде электросетевых организаций подтвердило наличие существенных недоработок в данной области и необходимость дальнейшего совершенствования данного направления.

Актуальность задачи обеспечения надежного электроснабжения значительно возросла в последние годы в связи с серьезными не только количественными, но и качественными изменениями потребителей электроэнергии. Особенно это обусловлено появлением сельскохозяйственных предприятий промышленного типа: в животноводческих и птицеводческих комплексах, а также значительным совершенствованием технологических процессов.

Электрификация сельскохозяйственного производства и широкое применение сельским населением электроэнергии в быту значительно повысили требования к ее эффективному использованию, надежности электроснабжения потребителей и работы электроустановок.

Известно, что перерывы в электроснабжении из-за аварийных отключений, особенно в зимнее время, вызывают простой производства, приводят к нарушению технологии производства сельскохозяйственной продукции и возможным ее потерям, выходу из строя оборудования. Недостаточная надежность электроснабжения является причиной нерационального использования машин и механизмов, снижения фондоотдачи и значительного материального ущерба.

В условиях рыночной экономики при введении свободных цен на электроэнергию как продукт производства вопросы надежности электроснабжения потребителей особенно актуальны.

Развитие электрификации сельского хозяйства предопределяет необходимость дальнейшего повышения надежности электроснабжения потребителей и эффективности использования электроустановок.

**Цель исследования** – оценить действительные значения показателей эксплуатационной надежности сельских электрических сетей для рассматриваемых районов Северокавказского региона. Установить закон распределения такой случайной величины, как время восстановления электроснабжения потребителей, сопоставить полученные результаты с усредненными данными по надежности, приводимыми в нормативных документах, дать оценку технического состояния электрических сетей трех рассматриваемых РЭС с учетом полученных значений коэффициента технического использования.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследования выполнялись с использованием статистического материала, накопленного в электрических сетях Северокавказского региона России за несколько лет. По соображениям конфиденциальности и в соответствии с принципами корпоративной этики в работе не приводятся реальные названия рассматриваемых районов электрических сетей. В дальнейшем условимся называть эти структурные подразделения РЭС «А», «Б» и «В».

Производственное отделение (ПО), включающее рассматриваемые районы электрических сетей, выполняет эксплуатацию 267 воздушных линий электропередачи напряжением 6–10 кВ общей протяженностью 4942 км. Высоковольтные сети обеспечивают питание 1505 потребительских трансформаторных подстанций, из которых мачтовых – 107, комплектных – 1325, закрытых – 73. Протяженность линий различна – от 0,5 до 32,8 км, радиальные участки достигают 20 км.

Прежде чем рассматривать такой вопрос, как оценка эксплуатационной надежности по материалам эксплуатации, необходимо уяснить, в каких условиях работают такие объекты в данном регионе. Сельские электрические сети в Северо-Кавказском регионе функционируют в условиях повышенной гололедной и ветровой нагрузки, особенно в весенние месяцы, что приводит к повышенному выходу из строя проводов, изменению положения опор и возможной их поломке. Для данного региона характерны оползневые явления с негативным воздействием на линии электропередачи и подстанции, разливы рек и затопления (в частности, электросетевых объектов). Переход на самонесущие изолированные провода (СИП) в данном регионе осуществляется крайне медленно. По предварительной оценке, такие работы выполнены не более, чем на 10% от общей протяженности сетей данного класса. Уровень внедрения автоматизированных средств секционирования, устройств телемеханики и автоматизации также желает лучшего. Все это негативно сказывается на общих показателях надежности сельских электрических сетей. В такой ситуации необходимо быть готовым к тому, что реальные показатели эксплуатационной надежности сельских электрических сетей для отдельно исследуемых объектов могут существенно превысить данные нормативного документа прошлого столетия [3].

Оценка статистических данных показала, что в 80–85% всех случаев серьезные повреждения сетей приводят к частичному обесточиванию потребителей путем отключения разъединителя отпаяк. Согласно электрическим схемам сетей РЭС отдельные линии 6–10 кВ имеют одностороннее питание, поэтому при отключении их от основной подстанции нарушается электроснабжение потребителей.

Поскольку в диспетчерских службах РЭС обычно ведется учет всех отключений электрических сетей, именно этим материалом и следует воспользоваться для расчета показателей надежности. Применяв общий методический подход, используемый в математической статистике при обработке статистических данных, сформулируем следующие задачи, которые необходимо решить:

- провести анализ имеющихся материалов по отказам электрических сетей, выделив повреждения, связанные с аварийными отключениями;
- выбрать показатели надежности;
- систематизировать имеющуюся информацию со статистическими данными;
- имеющиеся массивы информации по отдельным объектам обработать известными методами теории вероятности и математической статистики;
- проверить сходимость теоретического и статистического распределений;
- определить показатели надежности электрических сетей РЭС.

Необходимо учитывать следующие обстоятельства: число отключений должно быть достаточно большим, лучше, если их будет более 100. Учитывая опыт эксплуатационного обслуживания сетей, такой объем информации можно накопить за несколько лет, поэтому данные рекомендуется брать за 2–3 последних года; условия эксплуатации сетей должны быть стабильными, электросетевое оборудование должно работать только в пределах своего технического ресурса; период приработки оборудования необходимо исключить из рассмотрения.

Что касается единичных показателей эксплуатационной надежности электрических сетей, то для них следует использовать параметр потока отключений, т. е. среднее количество отключений в единицу времени (обычно принимается год), отнесенное к одному элементу, а для

линий электропередачи – с учетом ее длины – 1/(км год). Кроме этого, должен быть исследован такой показатель, как среднее время восстановления в часах. Поскольку параметр потока отключений для линий электропередачи представляет собой среднее количество преднамеренных или непреднамеренных отключений линий в год, отнесенное к единице ее длины, то для РЭС для одного года этот показатель может быть рассчитан по формуле

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{r_i}{L_i}}{N}, \quad (1)$$

где  $r_i$  – число отключений  $i$ -й линии;

$L_i$  – протяженность  $i$ -й линии, км;

$N$  – число фидеров.

С учётом периода накопления статистической информации параметр потока аварийных и плановых отключений следует определять как:

$$\mu_a^* = \frac{\sum_{i=1}^n r_j}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число лет сбора информации.

В соответствии с методикой, описанной в публикации [13], был обработан исходный массив первичной информации с учетом количества воздушных линий (ВЛ), их протяженности, количества и длительности отключений по каждому РЭС.

**Результаты исследования.** Результаты расчета параметра потока отключений для каждого РЭС представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета параметра потока отключений  
 Table 1. Calculation results of the outage flow parameter

Вид технологического отключения	Показатель и период		РЭС «А» (97 линий)	РЭС «Б» (102 линии)	РЭС «В» (68 линий)
Преднамеренные	$r_j$ , откл./км	2019 г.	0,090	0,080	0,322
		2020 г.	0,079	0,104	0,231
		2021 г.	0,076	0,053	0,227
	$\mu_n^*$ , $\frac{\text{откл}}{\text{км} \cdot \text{год}}$		<b>0,082</b>	<b>0,079</b>	<b>0,260</b>
Непреднамеренные	$r_j$ , откл./км	2019 г.	0,128	0,235	0,278
		2020 г.	0,130	0,154	0,350
		2021 г.	0,121	0,096	0,208
	$\mu_{nn}^*$ , $\frac{\text{откл}}{\text{км} \cdot \text{год}}$		<b>0,126</b>	<b>0,162</b>	<b>0,279</b>

На основании данных табл. 1 на рис. 1 представлена гистограмма отключений для рассматриваемых РЭС в зависимости от вида технологического отключения.

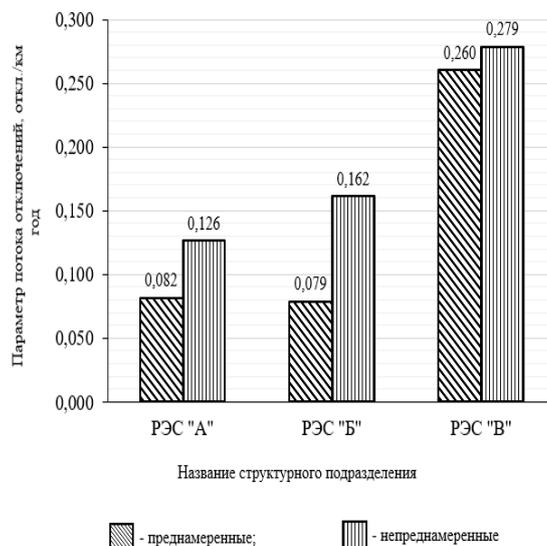


Рисунок 1. Распределение параметра потока отключений по видам технологического отключения

Picture 1. Distribution of the shutdown flow parameter by type of technological shutdown

Поскольку в настоящее время значительное количество журналов отключений в РЭС ведутся в электронном виде, то выбрать необходимый объем данных о количестве отключений по ним не составляет труда. Для автоматизации обработки этих данных может быть использован, например, табличный редактор Excel.

При исследовании второго показателя надежности среднего времени восстановления  $T_g^*$  часто возникает задача установления вида закона распределения и его основных параметров. При этом обработка статистических материалов может быть выполнена в соответствии со следующей методикой:

1. Накопленные данные располагаются в порядке возрастания, чтобы получить упорядоченный статистический ряд конечного числа имеющихся случайных величин времени восстановления  $T_i$ . Указанный набор величин получил название вариационного ряда. При этом совокупность  $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$  называется статистической выборкой объема  $m$  данных.

2. В случае использования значительного количества исходных данных вариационный ряд становится неудобной формой представления статистических материалов, следовательно, необходима дополнительная его трансформация. Для этого из статистического ряда выбирают минимальное и максимальное значения реализации случайной величины  $T_i$  и рассматривают интервал:

$$R = T_{\max} - T_1 \quad (3)$$

называют размахом варьирования. Далее он разбивается на  $k$  частных интервалов таким образом, чтобы в каждом из них было не менее 5–10 значений статистического ряда. Обычно длину частных интервалов выбирают одинаковой величины. Примерное значение этого интервала  $\Delta R_i$  можно определить по формуле

$$\Delta R_i = \frac{R}{1 + 3,3 \ln m} \quad (4)$$

3. После выбора числа  $k$  частных интервалов и их длины  $\Delta R_i$  определяется опытная частота  $f_i^*$  появления реализации случайной величины в данном интервале по формуле

$$f_i^* = \frac{\Delta m_i}{m}, \quad (5)$$

где  $\Delta m_i$  – количество членов статистического ряда, попавших в  $i$ -й интервал статического ряда  $\Delta R_i$ ;

$m$  – общее количество статистических данных.

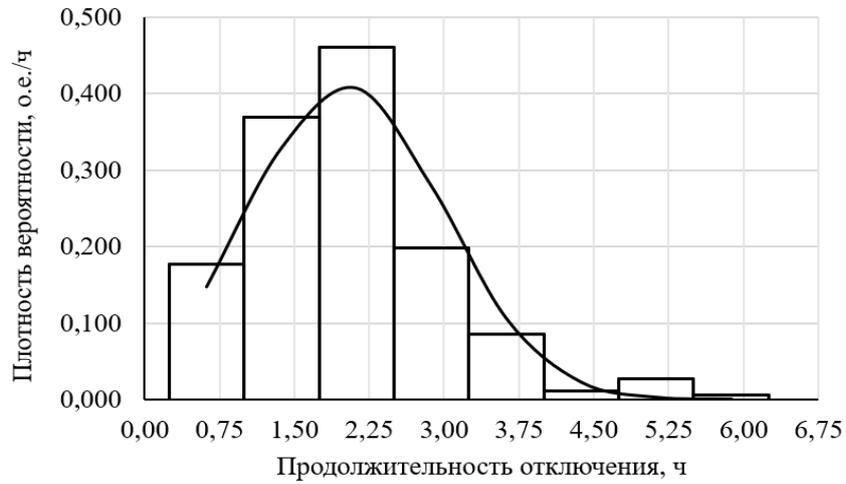
В соответствии с описанной методикой авторами был разработан алгоритм для определения статистического распределения выборочной совокупности данных о времени восстановления электроснабжения. Порядок обработки информации в соответствии с представленной блок-схемой алгоритма подробно описан в [13].

Полученное в результате обработки исходных данных статистическое распределение выборочной совокупности может быть представлено в виде гистограммы частот. Площадь, ограниченная ломанной кривой гистограммы, равна единице, то есть:

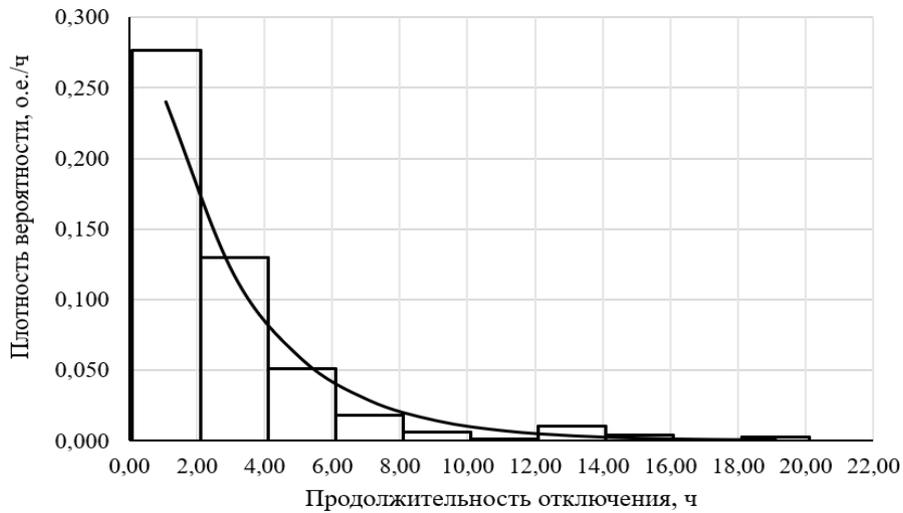
$$F = \sum_{i=1}^k f_i^* \Delta R_i. \quad (6)$$

Расчет следующего показателя эксплуатационной надежности – среднего времени восстановления – производился в соответствии с алгоритмом, представленным в публикации [13], в табличном редакторе Excel.

Полученные по результатам расчета гистограммы с теоретическими кривыми приведены на рис. 2–4.



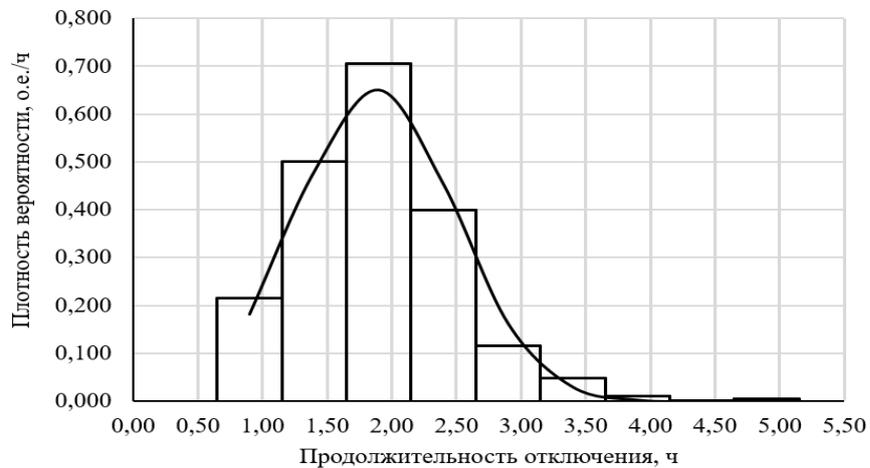
а – преднамеренные отключения



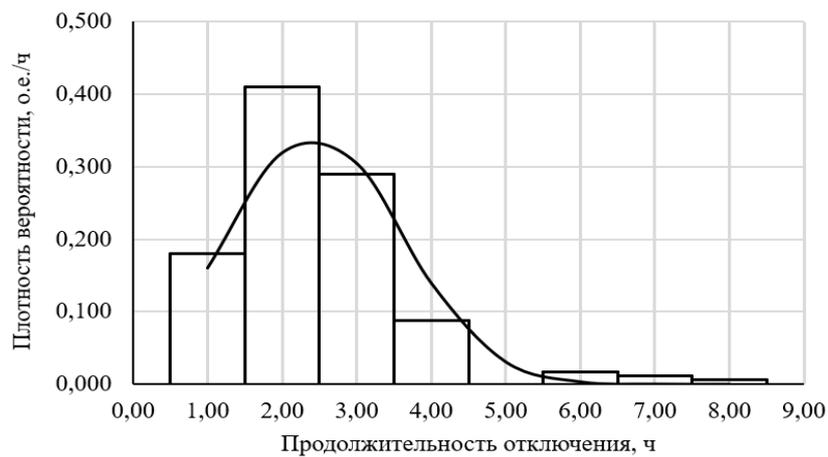
б – непреднамеренные отключения

Рисунок 2. Гистограммы среднего времени восстановления электроснабжения для РЭС «А»

Picture 2. Histograms of the average time to restore power supply for RES «A»



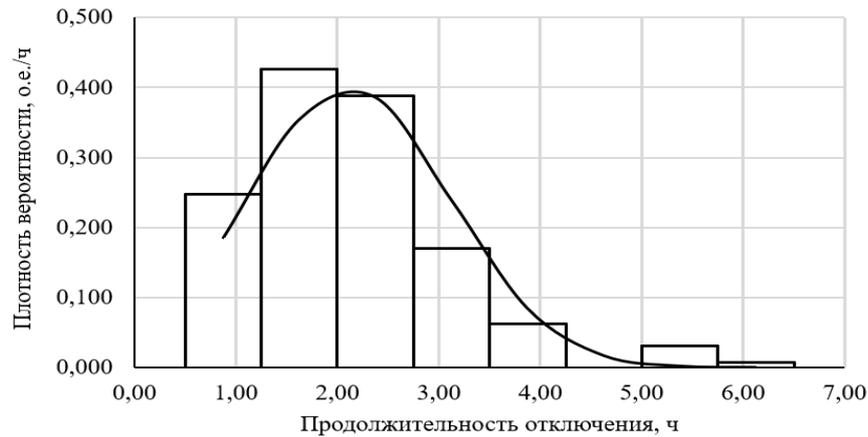
а – преднамеренные отключения



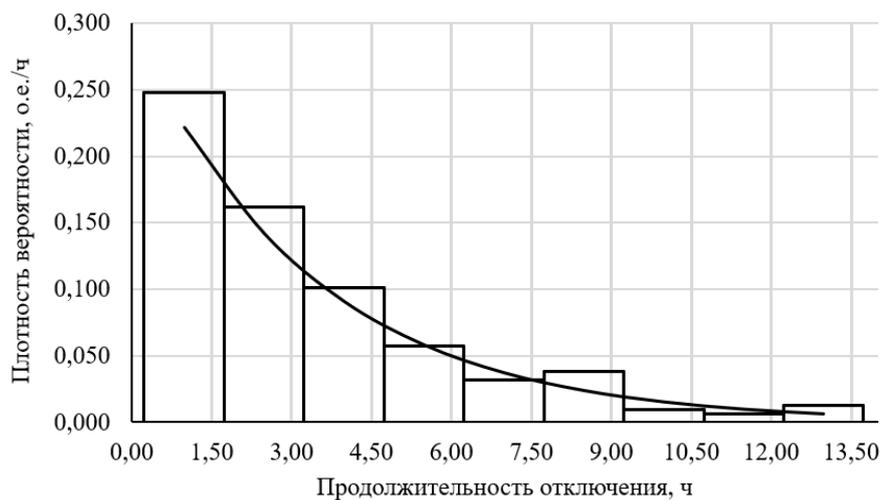
б – непреднамеренные отключения

Рисунок 3. Гистограммы среднего времени восстановления электроснабжения для РЭС «Б»

Picture 3. Histograms of the average time to restore power supply for RES «Б»



а – преднамеренные отключения



б – непреднамеренные отключения

Рисунок 4. Гистограммы среднего времени восстановления электроснабжения для РЭС «В»

Picture 4. Histograms of the average time to restore power supply for RES «B»

Статистическое распределение обычно не совпадает достаточно точно с теоретическим распределением. Причинами этого могут быть как конечное число опытов, так и неудачный выбор теоретического закона распределения. Влияние каждого из этих факторов объективно существует, поэтому нельзя категорически утверждать, что теоретический закон распределения подобран правильно, а также отвергать другие законы распределения.

Можно, избрав некоторую меру расхождения между предполагаемыми теоретическим и статистическим распределениями, найти вероятность того, что при данном числе опытов и правильном выборе теоретического распределения мера расхождения будет не меньше полученной из опыта. Значение этой вероятности может служить критерием согласия между двумя рассматриваемыми величинами и их распределениями. Если вероятность мала, то маловероятно, что расхождение объясняется малым числом статистических данных. В этом

случае следует предполагать, что теоретическое распределение плохо согласуется с данными наблюдения.

Для проверки согласованности можно использовать критерий  $\chi^2$  – Пирсона. Сущность критерия  $\chi^2$  – Пирсона заключается в том, что в качестве показателя расхождения между выбранной функцией распределения и полученными статистическими данными используется величина:

$$\chi_q^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\Delta m_i - m f_i)^2}{m f_i}, \quad )$$

где  $k$  – число разрядов, на которые разбит исходный массив статистической информации;

$\Delta m_i$  – число реализаций, попавших в  $i$ -й интервал группирования;

$m$  – общее число наблюдений (объем выборки);

$f_i$  – вероятность того, что случайная величина примет значение в пределах  $i$ -го разряда, вычисленная для теоретического закона распределения.

Методология проведения согласования по данному критерию достаточно хорошо описана в учебных изданиях по статистике. Нами предлагается алгоритм, который позволяет автоматизировать этот процесс [13].

Результаты проверки теоретического и статистического распределений по критерию согласия  $\chi^2$  – Пирсона представлены в табл. 2. Значения среднего времени восстановления электроснабжения приведены в табл. 3.

**Таблица 2. Результаты проверки теоретического и статистического распределений по критерию  $\chi^2$  – Пирсона при уровне значимости 0,05**

**Table 2. Results of testing theoretical and statistical distributions using the  $\chi^2$  – Pearson criterion at the significance level 0,05**

	Преднамеренные отключения			Непреднамеренные отключения		
	РЭС «А»	РЭС «Б»	РЭС «В»	РЭС «А»	РЭС «Б»	РЭС «В»
Расчетное значение критерия	10,5	8,4	10,5	12,5	8,9	5,2
Критическое значение критерия	11,1	12,6	11,1	15,5	11,1	14,1

**Таблица 3. Среднее время восстановления электроснабжения**

**Table 3. Average time to restore power supply**

	Преднамеренные отключения			Непреднамеренные отключения		
	РЭС «А»	РЭС «Б»	РЭС «В»	РЭС «А»	РЭС «Б»	РЭС «В»
Значение показателя $T_{в}^*$ , ч	2,0	1,9	2,1	2,8	2,4	3,4

Проведенный анализ полученных данных по показателям надежности сельских электрических сетей напряжением 10 кВ позволил установить следующее. Значение потока аварийных отключений в целом по ПО находится в диапазоне от 12,6 до 27,9 год<sup>-1</sup>/100 км, что существенно превышает данные, приводимые в нормативном документе [3] – 7,64 год<sup>-1</sup>/100 км, и обобщающие результаты исследований по сетям данного класса в статье [14] – 5,27–8

год<sup>-1</sup>/100 км. Имеющееся различие в полученных значениях показателей надежности может быть вызвано рядом обстоятельств: плохим техническим состоянием электрических сетей данного ПО; значительной изношенностью электросетевого оборудования; недостаточным внедрением СИП; слабым уровнем автоматизации; несовершенством системы эксплуатационного обслуживания и т. д.

Не следует забывать также о специфике построения сельских электрических сетей, например, о преимущественном использовании радиальных линий электропередачи и об отрицательном влиянии окружающей среды на работу электросетевого оборудования. В результате учет всех негативных факторов, действующих на сети, может привести к сугубо индивидуальным показателям надежности того или иного электросетевого объекта.

Что касается преднамеренных отключений, то рассчитанные данные по потоку отказов 7–26 год<sup>-1</sup>/100 км, если их интерпретировать в единицах измерения, используемых для аварийных отключений (за исключением одного из РЭС), в целом вписываются в действующий нормативный документ.

При рассмотрении другого важного показателя надежности сельских электрических сетей удалось установить несколько важных, отличающихся новизной положений. Так, среднее время восстановления одного аварийного отключения составило в данном ПО 2,8 ч. (для преднамеренных отключений – 2 ч.), что значительно меньше нормативных требований – 5 ч., и просматривается тенденция по его дальнейшему сокращению. Указанная ситуация объясняется проводимой в настоящее время технической политикой электросетевых предприятий, направленной на максимальное снижение перерывов электроснабжения потребителей. Для этого предпринимаются попытки повсеместного внедрения автоматизированных секционирующих пунктов с использованием реклоузеров на магистральных линиях напряжением 10 кВ, микропроцессорных устройств защиты, внедрения устройств автоматического определения места повреждения и др.

Необходимо также отметить, что проводимые мероприятия, связанные с сокращением перерывов электроснабжения, с теоретической точки зрения отразились на законе распределения такой случайной величины, как среднее время восстановления. Если раньше в теории надежности существовало мнение, что такие показатели, как среднее время восстановления, наработка до отказа и другие временные параметры, подчиняются экспоненциальному закону, то проведенные исследования показывают иную картину.

Анализ полученных гистограмм позволил установить, что случайная величина продолжительности устранения дефекта при преднамеренных отключениях для всех исследуемых РЭС подчиняется нормальному закону распределения, а при непреднамеренных для РЭС «Б» – нормальному распределению, в то время как для РЭС «А» и «В» – экспоненциальному. Наблюдаемая закономерность может быть объяснена следующим образом. Экспоненциальное распределение характерно для случаев, когда продолжительность отключения изменяется в достаточно широком диапазоне – от нескольких минут до 13 часов и более. В такой ситуации вариационный ряд делится на интервалы продолжительностью 1,5 часа и более, в результате кратковременные отключения концентрируются именно в первом интервале. Учитывая рост автоматизации электрических сетей, применение сетевых элементов, обладающих более высокой эксплуатационной надежностью, а также политику, проводимую в электросетевых компаниях, мы видим, что в анализируемых выборках большая доля приходится именно на краткосрочные отключения продолжительностью не более 2,5

часов, что и объясняет наибольшую относительную частоту отключений именно в первом интервале.

В случае, когда значительных по продолжительности отключений нет, вариационный ряд делится на интервалы с продолжительностью от 0,5 до 1 часа. И в такой ситуации мы получаем нормальный закон распределения, поскольку интервал с наибольшей относительной частотой отключений продолжительностью не более 2,5 часов в этом случае делится на 2 либо 3 интервала длительностью по 0,5 часа либо по 1 часу.

Можно сделать вывод, что распределение среднего времени восстановления электроснабжения при отсутствии длительных отключений подчиняется нормальному закону распределения.

Известно, что наиболее общим и универсальным показателем надежности сельских электрических сетей является коэффициент технического использования. Данный показатель одновременно характеризует 2 свойства объекта: его безотказность и ремонтпригодность. На основании полученных статистических данных значение показателя может быть определено как:

$$K_{ТИ} = \frac{8760 - (\mu_n^* LT_{в.П}^* + \mu_{ин}^* LT_{в.НП}^*)}{8760}, \quad (8)$$

где  $\mu_n^*$ ,  $\mu_{ин}^*$  – параметры потока преднамеренных и непреднамеренных отключений соответственно,  $\frac{откл}{км \cdot год}$ ;

$T_{в.П}^*$ ,  $T_{в.НП}^*$  – среднее время восстановления электроснабжения при преднамеренных и непреднамеренных отключениях, ч;

L – суммарная протяженность ВЛ, км.

В табл. 4 приведены рассчитанные значения коэффициента технического использования для рассматриваемых РЭС.

Таблица 4. **Значения коэффициента технического использования**  
 Table 4. **Technical utilization coefficient values**

	РЭС «А»	РЭС «Б»	РЭС «В»
Значение показателя $K_{ТИ}$	0,89	0,94	0,66

Анализ полученных данных показывает, что наилучшее техническое состояние ВЛ напряжением 10 кВ характерно для РЭС «Б», а наихудшее – для РЭС «В». В РЭС «В» 34% календарного времени в электрических сетях района проводятся эксплуатационные мероприятия, связанные с перерывом электроснабжения, что негативно сказывается на работе потребителей электроэнергии.

**Выводы:**

1. Надежность является определяющим фактором технического совершенства электросетевого оборудования и способности электросетевой организации выполнять свои функциональные обязанности перед потребителями.

2. В процессе эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей показатели надежности могут быть определены путем моделирования или обработки накопленных статистических материалов по перерывам электроснабжения. Использование статистических данных позволяет получить более достоверные значения показателей надежности.

3. Существующая система сбора и фиксации информации о перерывах электроснабжения в электросетевых организациях в целом соответствует современным требованиям. Однако технология обработки массивов информации нуждается в цифровизации. Разработанное авторами алгоритмическое и программное обеспечение позволяет устранить этот недостаток. Рекомендуется более широкое использование компьютерных технологий для решения таких задач.

4. Проверка предложенных теоретических положений по оценке надежности электрических сетей по статистическим данным выполнялась на основе реальных данных одного из Производственных отделений Северокавказского региона России. Были использованы материалы за несколько лет.

5. Установлено, что значения показателей эксплуатационной надежности каждой конкретной электросетевой организации индивидуальны и зависят от принятых схемно-конструктивных решений сетей, их технического состояния, своевременности и качества проводимых эксплуатационных мероприятий. Так, поток отключений в электрических сетях напряжением 10 кВ рассматриваемого ПО находится в диапазоне от 12,6 до 27,9 год<sup>-1</sup>/100 км, что существенно превышает данные нормативных документов – 7,64 год<sup>-1</sup>/100 км и результаты по данной проблематике, приводимые в открытой печати, – 5,27–8 год<sup>-1</sup>/100 км. Имеющееся различие в значениях можно объяснить существующим техническим состоянием электрических сетей в данном ПО, значительной изношенностью электросетевого оборудования, явно недостаточным внедрением СИП, слабым уровнем автоматизации, недостатками в системе эксплуатационного обслуживания и т. д.

6. При рассмотрении другого важного показателя надежности сельских электрических сетей удалось установить, что среднее время восстановления одного аварийного отключения составило для рассматриваемого ПО 2,8 ч. (для преднамеренных отключений – 2 ч.), что значительно меньше нормативных требований – 5 ч.; просматривается тенденция по его дальнейшему сокращению. Указанная ситуация объясняется проводимой в настоящее время технической политикой электросетевых предприятий, направленной на максимальное снижение перерывов электроснабжения потребителей.

7. Внедрение мероприятий, связанных с сокращением перерывов электроснабжения, с теоретической точки зрения отразилось на законе распределения такой случайной величины, как среднее время восстановления. Если раньше в теории надежности существовало мнение, что такие показатели, как среднее время восстановления, наработка до отказа и другие временные параметры подчиняются экспоненциальному закону, то проведенные исследования показали, что не исключается появление и нормального распределения в случае отсутствия значительных по продолжительности отключений.

8. Результаты обработки статистических данных позволили выполнить сравнительный анализ технического состояния электрических сетей отдельных структурных подразделений ПО по такому важному показателю, как коэффициент технического использования. Получены следующие значения для отдельных РЭС: 0,89; 0,94; 0,66. При этом значение  $K_{ти} = 0,66$  для РЭС «В» свидетельствует о неблагоприятной ситуации с сетями на данном предприятии, поскольку 34% времени в них проводятся мероприятия, связанные с отключением электроэнергии на том или ином участке сети, что негативно сказывается на работе потребителей.

#### Список источников литературы

1. Воропай, Н.И. Надежность систем энергетики (сборник рекомендуемых терминов). – М.: Энергия, 2007. – 192 с.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Межгосударственный стандарт, 1989. – 24 с.
3. РД 34.20.574 – Указания по применению показателей надёжности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками. Утверждено 3.09.1984. – М.: СПО Союзтехэнерго. 1985. – 20 с.
4. Виноградов, А.В., Перьков, Р.А. Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надёжности электроснабжения потребителей // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 12(55). – С. 12–21.
5. Alberto Escalera, A.; Prodanovi'c, M.; Castronuovo, E.D. Analytical methodology for reliability assessment of distribution networks with energy storage in islanded and emergency-tie restoration modes. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2019, 107, pp. 735–744.
6. Сбитнев, Е.А., Жужин, М.С. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0,38 кВ нижегородской энергосистемы // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 11(114). – С. 36–47, doi: 10.24411/2227-9407-2020-10104.
7. Оськин, С.В., Ефанов, А.В., Ястребов, С.С., Букреев, А.Г. Анализ статистических данных по эксплуатации электрических сетей при работе оперативно-диспетчерской группы в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2018. – № 4(36). – С. 6–11.
8. Хорольский, В.Я., Шемякин, В.Н., Кравченко, С.А. Определение оптимального числа ремонтных бригад для устранения повреждений в электрических сетях // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – № 2(10). – С. 135–137.
9. Хорольский, В.Я., Исупова, А.М., Шемякин, В.Н. Обоснование штатного состава электромонтеров в бригаде для обслуживания электрических сетей // Сельский механизатор. – 2023. – № 4. – С. 38–39.
10. Рыбаков, Л.М., Иванова, З.Г. Прогнозирование отказов и планирование резерва запасных элементов, аппаратов и оборудования распределительных электрических сетей 10 кВ // Вестник ЧГУ. – 2015. – № 1. – С. 104–110.
11. Буторин, В.А., Царев, И.Б., Ткачёв, А.Н., Хитев, С.А. Создание аварийного резерва запасных частей районов электрических сетей исходя из теории управления запасами // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сборник трудов V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов. – Челябинск, 2021. – С. 139–143.
12. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 29.11.2016 № 1256 «Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надёжности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организаций по управлению единой

национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций», 2016.

13. Исупова А.М., Хорольский В.Я. К вопросу о внедрении автоматизированных способов расчета показателей надежности электрических сетей в практику деятельности сетевых предприятий // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – № 1 (57). – С. 32–41.
14. Виноградов, А.В., Лансберг, А.А., Виноградова, А.В. Определение современных показателей надежности воздушных линий электропередачи 0,4–110 кВ // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 77–85, doi: 10.26897/2687-1149-2023-1-77-85.

### References

1. Voropaj N.I. Nadezhnost' sistem energetiki. (Reliability of energy systems). Moscow, Izdatel'sko-analiticheskij centr "Energiya", 2007, 192 p.
2. GOST 27.002–89. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. M.: Mezhgosudarstvennyj standart, 1989. 24 p.
3. RD 34.20.574 – Ukazaniya po primeneniyu pokazatelej nadyozhnosti elementov energosistem i raboty energoblokov s paroturbinnymi ustanovkami. Utverzhdeno 3.09.1984. M.: SPO Soyuztexenergo. 1985; 20. (In Russ.)
4. Vinogradov A.V., Per'kov R.A. Analiz povrezhdaemosti elektrooborudovaniya elektricheskix setej i obosnovanie meropriyatij po povysheniyu nadezhnosti elektrosnabzheniya potrebitelej (Analysis of damageability of electrical equipment of electrical networks and justification of measures to improve the reliability of power supply to consumers). Vestnik NGIEI. 2015; 12(55): 12-21. (In Russ.)
5. Alberto Escalera, A.; Prodanovi'c, M.; Castronuovo, E.D. Analytical methodology for reliability assessment of distribution networks with energy storage in islanded and emergency-tie restoration modes. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2019, 107, 735–744.
6. Sbitnev E.A., Zhuzhin M.S. Analiz avarijnosti sel'skix elektricheskix setej 0,38 kV nizhegorodskoj energosistemy (Analysis of accident rates in rural electrical networks 0.38 kV of the Nizhny Novgorod energy system). Vestnik NGIEI. 2020; 11(114): 36-47, doi: 10.24411/2227-9407-2020-10104. (In Russ.)
7. Os'kin S.V., Efanov A.V., Yastrebov S.S., Bukreev A.G. Analiz statisticheskix dannyx po ekspluatatsii elektricheskix setej pri rabote operativno-dispetcherskoj gruppy v usloviyax vozniknoveniya chrezvychajnyx situacij prirodno go xaraktera (Analysis of statistical data on the operation of electrical networks during the work of the operational dispatch group in conditions of natural emergencies). Chrezvychajnye situacii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost'. 2018; 4(36): 6-11. (In Russ.)
8. Xorol'skij V.YA., SHemyakin V.N., Kravchenko S.A. Opredelenie optimal'nogo chisla remontnyx brigad dlya ustraneniya povrezhdenij v elektricheskix setyax (Determining the optimal number of repair teams to eliminate damage in electrical networks). Vestnik APK Stavropol'ya. 2013; 2(10): 135-137. (In Russ.)
9. Xorol'skij V.YA., Isupova A.M., SHemyakin V.N. Obosnovanie shtatnogo sostava elektromonterov v brigade dlya obsluzhivaniya elektricheskix setej (Justification of the staffing of electricians in the team for servicing electrical networks). Sel'skij mexanizator. 2023; 4: 38-39. (In Russ.)
10. Rybakov L.M., Ivanova Z.G. Prognozirovaniye otkazov i planirovaniye rezerva za-pasnyx elementov, apparatov i oborudovaniya raspredelitel'nyx elektricheskix setej 10 kV (Predicting failure and planning reserves of spare parts, apparatus and equipment for 10 kv electric distribution grids). Vestnik CHGU. 2015; 1: 104-110. (In Russ.)
11. Butorin V.A., Carev I.B., Tkachyov A.N., Xitev S.A. Sozdaniye avarijnogo rezerva zapasnyx chastej rajonov elektricheskix setej isxodya iz teorii upravleniya zapasami (Creation of an emergency reserve of spare parts for electrical network areas based on the theory of inventory

- management). *Sovremennaya texnika i tehnologii v elektroenergetike i na transporte: zadachi, problemy, resheniya. Sbornik trudov V Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoj konferencii nauchnyx, nauchno-pedagogicheskix rabotnikov, aspirantov i studentov. Chelyabinsk. 2021; 139-143. (In Russ.)*.
12. Prikaz Ministerstva energetiki Rossijskoj Federacii ot 29.11.2016 № 1256 «Ob utverzhdenii Metodicheskix ukazanij po raschetu urovnya nadezhnosti i kachestva postavlyaemyh tovarov i okazyvaemyh uslug dlya organizacij po upravleniyu edinoj nacional'noj (obshcherossijskoj) elektricheskoy set'yu i territorial'nyh setevykh organizacij», 2016.
  13. Isupova A.M., Xorol'skij V.YA. K voprosu o vnedrenii avtomatizirovannyx sposobov rascheta pokazatelej nadezhnosti elektricheskix setej v praktiku deyatelnosti setevyx predpriyatij (To the issue of the adoption of automated methods calculation of the reliability indicators of electric networks into the practice of network enterprises). *Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2022; 1(57): 32-41. (In Russ.)*
  14. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Opredelenie sovremennyh pokazatelej nadezhnosti vozdushnyh linij elektroperedachi 0,4-110 kV (Determination of modern reliability indicators of overhead power transmission lines of voltage classes 0.4-110 kV). *Agroinzheneriya. 2023; vol. 25, 1: 77-85. (In Russ.)* <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-77-85>.

#### 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: alsite1@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: alsite1@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 30.11.2023.*

*The article was submitted 05.10.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 30.11.2023.*

## 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. Агрехимия, 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 (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» на сайте <http://spbgau.ru/izvestiya>.**

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 5 (74)  
Юбилейный выпуск к 20-летию журнала

Подписано к печати 28.12.2023.  
Формат 60×84 1/8. П.л. 8,75. Тираж 1000. Заказ 394  
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов  
в Издательско-полиграфическом комплексе  
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета  
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2