

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 3 (68)**



**IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY**

**2022**

# ИЗВЕСТИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 (68)



# IZVESTIYA

SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY

2022

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ежеквартальный научный журнал  
№ 3 (68)

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**

quarterly scientific journal  
№ 3 (68)

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  
ПИ № FS77-26051 on October 18, 2006

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

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

Published since 2004

Founder – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg state agrarian university"

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ежеквартальный научный журнал  
№ 3 (68)

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

Заместители главного редактора:  
**Колесников Роман Олегович**  
Кандидат ветеринарных наук, проректор  
по научной и инновационной работе  
**Воронцов Ярослав Алексеевич**  
Кандидат экономических наук, проректор по коммерческой деятельности  
и развитию имущественного комплекса

Ответственный секретарь  
кандидат экономических наук  
**Дементьева Анастасия Александровна**  
Выпускающий редактор  
**Жукова Елена Евгеньевна**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Алдошин Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**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;

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

**Болгов Анатолий Ефремович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры зоотехния, рыбоводство, агрономия и землеустройство ФГБОУ ВО ПетрГУ;

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

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

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

**Дидмандзе Отари Назирович**, академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильный транспорт 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;

**Карпов Валерий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергообеспечения предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**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 агрохимия 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;

**Найда Надежда Михайловна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры земледелия и луговодства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**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;

**Сафронюк 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 применение 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**

QUARTERLY ISSUED SCIENTIFIC JOURNAL

№ 3 (68)

Editor-in-Chief

**Morozov Vitaliy Yurievich**

Doctor of Veterinary Sciences, Rector

Deputies Editor-in-Chief

**Kolesnikov Roman Olegovich**

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

**Vorontsov Yaroslav Alekseyevich**

Candidate of Economic Sciences, Vice-Rector for Commercial  
Activities and Development of the Property Complex

Executive Secretary

Candidate of Economic Sciences

**Dementeva Anastasiia Aleksandrovna**

Executive Journal Editor

**Zhukova Elena Evgenevna**

**EDITORIAL BOARD**

**Aldoshin Nikolay Vasilievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Agricultural machines, FSBEI HE RSAU – MTAA;

**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;

**Karpov Valery Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Power Supply of Enterprises and Electrotechnologies, FSBEI HE SPbSAU;

**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;

**Nayda Nadezhda Mikhailovna**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Farming and Grassland Research, FSBEI HE SPbSAU;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### АГРОНОМИЯ

<b>Найда Н.М.</b> Эколого-морфологическое изучение семенной продуктивности <i>Polemonium caeruleum</i> в условиях Ленинградской области.....	9
<b>Холина А.Б., Позднякова Т.Э., Санданов Д.В.</b> Состояние популяций ценных лекарственных видов рода <i>Oxytropis</i> Байкальской Сибири по данным хлоропластной ДНК.....	20
<b>Степанова Н.Ю.</b> Агробиологическая оценка образцов Фенхеля в условиях Ленинградской области .....	31
<b>Хуаз С.Х., Рапетсоа М.К., Лебедев В.Н.</b> Влияние микробиоудобрения Флавобактерин на ростовые процессы и микрофлору почвы прикорневой зоны яровой пшеницы в различные фазы роста .....	41
<b>Анисимов А.И., Доброхотов С.А., Рогозева У.Б.</b> Испытание биохимических препаратов для защиты капусты от основных вредителей в органическом земледелии .....	49
<b>Сергеев Г.Е., Данилов Л.Г., Турицин В.С.</b> Методология итерационной линеаризации в оценке летальных концентраций биологических препаратов, изготавливаемых на основе энтомопатогенных нематод (Nematoda: Steinernematidae) .....	64

### ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

<b>Амерханов Х.А., Мурадян А.М., Соловьева О.И.</b> Мясная продуктивность бычков разных генотипов кавказской бурой породы Армении .....	73
<b>Шошина Ю.В.</b> Влияние различных технологий содержания на рост бычков симментальской породы .....	83
<b>Мусаева И.В., Алиева Е.М.</b> Иммуногенетический полиморфизм крови крупного рогатого скота АО «Кизлярагрокомплекс».....	94
<b>Борисова А.В., Санганяева А.В., Дацишин А.А.</b> Применение метода геометрической морфометрии при дифференциации внутрипородных типов владимирской породы лошадей .....	103

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

<b>Беззубцева М.М., Волков В.С.</b> Исследование закономерностей формирования разрушающих напряжений в электромеханических диспергаторах .....	112
<b>Гулин С.В., Пиркин А.Г.</b> Системный анализ в энергетике агропромышленного комплекса .....	121
<b>Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.И.</b> Натурное моделирование в светокультуре.....	130
<b>Алдошин Н.В., Худникулиев Р.Р., Курамбоев Б.Р., Урилов А.П.</b> Пневмомеханический туковысевающий аппарат для культиватора-растениепитателя ...	139
<b>Зейнетдинов Р.А.</b> Энтропийная оценка тепловых потерь в камере сгорания поршневых двигателей .....	149



## CONTENTS

### AGRONOMY

<b>Naida N.M.</b> Ecological and morphological study of the seed productivity of <i>Polemonium caeruleum</i> in the Leningrad region.....	9
<b>Kholina A.B., Pozdnyakova T.E., Sandanov D.V.</b> Status of populations of valuable medicinal species of the <i>Oxytropis</i> genus Baikal Siberia according to chloroplast DNA data.	20
<b>Stepanova N.Y.</b> Agrobiological evaluation of fennel samples in the conditions of the Leningrad region .....	31
<b>Khuaz S.H., Rapetsoa M.C., Lebedev V.N.</b> Influence of Flavobacterin microbiofertilizer on growth processes and soil microflora of spring wheat root zone in different growth phases .....	41
<b>Anisimov A.I., Dobrokhotov S.A., Rogozeva U.B.</b> Trial of biochemical preparations for main cabbage pests control in organic farming .....	49
<b>Sergeyev G.E., Danilov L.G., Turitsin V.S.</b> Iterative linearization methodology for estimating lethal concentrations of biological preparations based on entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae) .....	64

### VETERINARY MEDICINE AND ANIMAL SCIENCE

<b>Amerkhanov K.A., Muradyan A.M., Solovyova O.I.</b> Meat productivity of bulls of different genotypes of the Caucasian brown breed of Armenia.....	73
<b>Shoshina Y.V.</b> Influence of different housing technologies on the Simmental bulls growth ...	83
<b>Musaeva I.V., Alieva E.M.</b> Immunogenetic polymorphism of cattle blood of joint stock company "Kizlyaragrocomplex" .....	94
<b>Borisova A.V., Sanganaeva A.V., Datsishin A.A.</b> Application of geometric morphometry method in differentiation of intra-breed types of Vladimirskaya horse breed .....	103

### PROCESSES AND MACHINES OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

<b>Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.</b> Investigation of the regularities of the formation of destructive stresses in electromechanical dispersants .....	112
<b>Gulin S.V., Pirkin A.G.</b> System analysis in the energy sector of the agro-industrial complex .....	121
<b>Rakutko E.N., Rakutko S.A., Vaskin A.N.</b> In-situ modeling in light culture.....	130
<b>Aldoshin N.V., Khudnikuliev R.R., Kuramboev B.R., Urilov A.P.</b> Pneumomechanical tow-raising apparatus for cultivator-plant feeder .....	139
<b>Zejnetdinov R.A.</b> Entropy estimation of heat losses in the chamber combustion of piston engines .....	149

# АГРОНОМИЯ

## AGRONOMY

Научная статья  
УДК 58:633.8  
doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-9-19

### ЭКОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ *POLEMONIUM CAERULEUM* В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Надежда Михайловна Найда

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; nayda.nad@yandex.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-3909-4353>

**Реферат.** Синюха голубая *Polemonium caeruleum* L. из семейства Синюховых *Polemoniaceae* – лекарственное растение. Синюха голубая оказывает противокашлевое, успокаивающее, кровоостанавливающее, дезинфицирующее действие. Настой и отвар корневища с корнями используют как седативное средство при бессоннице и неврозах, язвенной болезни. В России ее выращивают на небольших площадях в отдельных специализированных хозяйствах. Однако ведется отработка технологии возделывания синюхи в разных регионах. Поэтому комплексные исследования синюхи голубой являются актуальными.

Целями исследования являются изучение экологических и морфолого-анатомических особенностей семян и установление уровня семенной продуктивности синюхи голубой в условиях культуры в Ленинградской области.

Фенологические наблюдения и другие исследования проводили по методикам и рекомендациям ВНИИЛАР. Исследования проводили в питомнике лекарственных и эфирно-масличных растений Санкт-Петербургского государственного аграрного университета в 2021–2022 гг. Объектом была синюха голубая сорт «Лазурь».

В статье подробно рассмотрена репродуктивная сфера растения от цветка до семени. Изучены морфометрические показатели семени и плода, структура растения, определяющая семенную продуктивность, показан уровень семенной продуктивности растений и урожайность семян. Также рассмотрен вопрос диссеминации семян.

Установлено, что длина вегетационного периода синюхи голубой зависит от температуры воздуха, осадков и других факторов и может значительно сокращаться. Эколого-морфологические особенности цветка обеспечивают активное посещение насекомых и, в конечном итоге, высокую семенную продуктивность. Уровень семенной продуктивности в годы исследования почти не различался и составлял 6,7 г с одного растения, хотя структурные показатели растений варьировали. По способу распространения семян синюху можно отнести к баллистам, семена разлетаются на небольшие расстояния при раскачивании растений. Все экологические особенности диссеминации синюхи голубой необходимо учитывать при организации ее семеноводства.

**Ключевые слова:** синюха голубая, фенологические фазы, семена, плоды, семенная продуктивность

**Цитирование.** Найда Н.М. Эколого-морфологическое изучение семенной продуктивности *Polemonium caeruleum* в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 9–19 doi: 10/24412/2078-1318-2022-3-9-19.

ECOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL STUDY OF THE SEED PRODUCTIVITY  
OF *POLEMONIUM CAERULEUM* IN THE LENINGRAD REGION

Nadezhda M. Naida

Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; nayda.nad@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3909-4353>

**Abstract.** Blue cyanurus *Polemonium caeruleum* L. is a medicinal plant in the family *Polemoniaceae*. Blue cyanx has anti-cough, sedative, styptic, disinfectant effect. Infusion and decoction of the rhizome and roots are used as a sedative for insomnia and neurosis, peptic ulcer. In Russia, it is grown on small plots on individual specialized farms. However, the technology of blueberry cultivation is being perfected in different regions. Therefore, the complex research of blue pineapple is relevant.

The purpose of the study is to study the ecological and morphological-anatomical features of seeds and to establish the level of seed productivity of blue pineapple under cultivation conditions in the Leningrad Region.

Phenological observations and other studies were carried out according to the methods and recommendations of VNIILAR. The studies were carried out in the nursery of medicinal and essential-oil plants of St. Petersburg State Agrarian University in 2021-2022. The object was blueberry cultivar "Azure".

The reproductive sphere of the plant from flower to seed was examined in detail. The morphometric parameters of the seed and the fruit, the structure of the plant determining the seed productivity were studied, the level of seed productivity of plants and seed yield were shown. The question of seed dissemination was also considered.

It is established that the length of the vegetation period of blueberry depends on air temperature, precipitation and other factors and can be significantly reduced. Ecological and morphological features of the flower provide active visiting of insects and, as a result, high seed productivity. The level of seed productivity in the years of the study almost did not differ and amounted to 6.7 g per plant, although the structural parameters of the plants varied. According to the method of seed dispersal, blueberry can be classified as a ballista, the seeds are dispersed over short distances when the plants are swayed. All ecological peculiarities of blue pineapple dissemination should be taken into account when organizing its seed production.

**Keywords:** blue cyanx, phenological phases, seeds, fruits, seed productivity

**Citation.** Naida, N.M. (2022), "Ecological and morphological study of seed productivity of *Polemonium caeruleum* in the Leningrad region", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 9-19, (in Russ.) doi: 10/24412/2078-1318-2022-3-9-19.

**Введение.** Данная статья является продолжением серии работ по исследованию синюхи голубой в Ленинградской области [1]. Синюха голубая *Polemonium caeruleum* L. имеет народные названия – валериана греческая, зверобой синий, синюха лазоревая, синюшник и относится к семейству Синюховых *Polemoniaceae*. Синюха голубая – европейско-сибирский вид, ее ареал охватывает всю Европейскую часть Российской Федерации, Западную и Восточную Сибирь, Байкал, встречается также в районах Ленинградской области (Флора СССР, 1953; Иллюстрированный определитель Ленинградской области, 2006). Синюха голубая любит плодородные почвы и сырые места, переносит затенение. Может встречаться на суходольных лугах и в лесах, в горах – до верхней границы леса (Атлас лекарственных растений России, 2006). В последние годы отмечается сокращение синюхи голубой, а в отдельных районах она включена в Красную книгу [2].

Синюха голубая обладает лекарственными свойствами, сырьем служат корневища с корнями, которые содержат тритерпеновые сапонины, смолы, органические кислоты, жирные и эфирные масла и др. Имеются сведения, что трава синюхи голубой тоже содержит тритерпеновые сапонины и может служить их перспективным источником [3]. Синюха оказывает противокашлевое, успокаивающее, кровоостанавливающее, дезинфицирующее действие. Ее применяют в виде настоя или отвара. Настой и отвар корневища с корнями используют как седативное средство при бессоннице и неврозах. Синюху голубую с травой сушеницы топяной применяют в лечении язвенной болезни желудка [4]. В настоящее время активно ведется исследование химического состава корневищ и корней синюхи, а также надземной части растений и изучение их фармакологических свойств [5–12].

Заготовка синюхи голубой в природе не производится, так как это очень трудоемкий процесс. В СССР синюху выращивали в Белоруссии и таким образом удовлетворяли потребность в сырье. В настоящее время в России ее выращивают на небольших площадях в отдельных специализированных хозяйствах. Кроме того, ведется отработка технологии возделывания синюхи в различных регионах, однако для расширения площадей требуется хорошо налаженное семеноводство этого растения [13–16].

Принимая во внимание важность синюхи голубой и перспективность безотходного использования этой культуры, а также отсутствие данных для Ленинградской области, считаем, что изучение ее семенной продуктивности является очень актуальным.

**Цель исследования** – изучить некоторые экологические и морфолого-анатомические особенности семян и семенной продуктивности синюхи голубой в условиях культуры в Ленинградской области.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Наблюдения проводили в коллекционном питомнике лекарственных и эфирно-масличных растений Санкт-Петербургского государственного аграрного университета в 2021–2022 гг. Объектом исследований была синюха голубая, сорт «Лазурь». Технология возделывания подробно изложена в предыдущей статье [1].

Фенологические наблюдения проводили по рекомендациям ВНИИЛАР (Атлас лекарственных растений, 2006; Майсурадзе Н.И., 1984). При изучении семенной продуктивности использовали методику Р.Е. Левиной (Методические указания по семеноведению интродуцентов, 1980). Изучены следующие элементы семенной продуктивности: среднее число генеративных полурозеточных побегов; среднее число побегов II порядка; среднее число коробочек на побеге; среднее число семян в коробочке; средняя масса семян с одного растения; масса семян с 1 м<sup>2</sup> и масса 1000 семян.

Анатомию и морфологию плодов и семян изучали на живом и фиксированном материале. Срезы делали от руки, готовили временные препараты.

Известно, что погодные условия влияют на рост и развитие растений и в конечном итоге – на урожайность плодов и семян. Анализ погодных условий в годы наблюдений показал, что первые летние месяцы 2021 г. были очень сухими, жаркими, среднемесячная температура воздуха значительно превышала многолетние показатели, а сумма осадков была ниже нормы. Температуры остальных месяцев вегетационного периода были близки к норме. Сумма осадков в 2021 г. значительно превышала норму в мае и августе, а в июне и июле была ниже средних многолетних (рис. 1, 2).

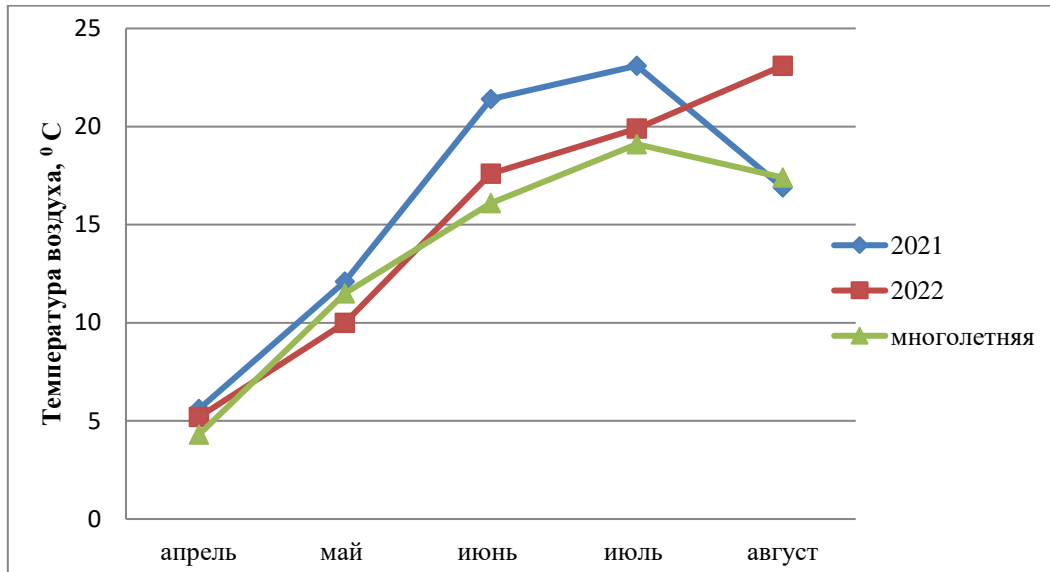


Рисунок 1. Среднемесячная температура воздуха (Пушкинский район), °C  
Figure 1. Average monthly air temperature in the Pushkin district, °C

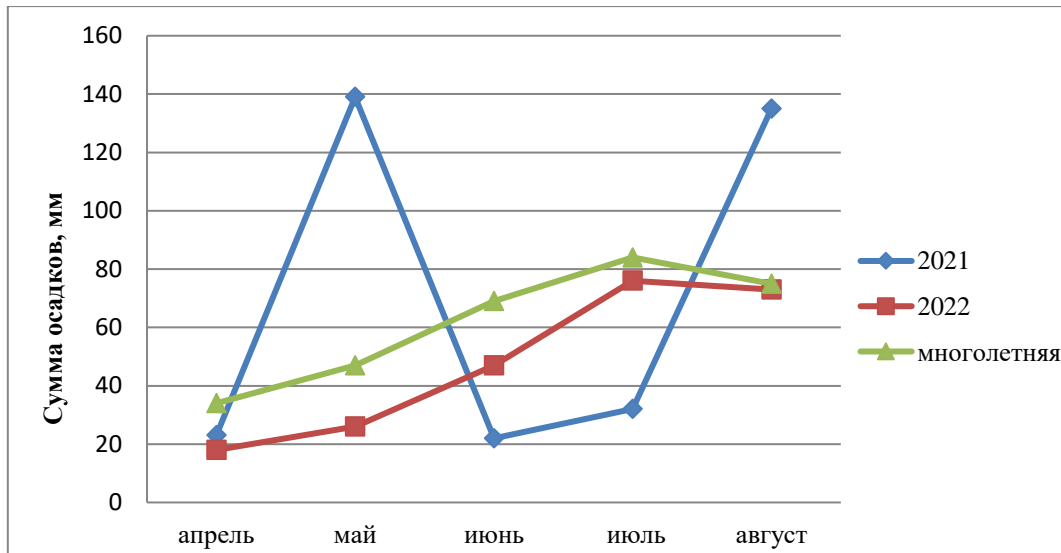


Рисунок 2. Среднемесячная сумма осадков (Пушкинский район), мм  
Figure 2. Average monthly precipitation in the Pushkin district, mm

В апреле и мае 2022 г. среднемесячные температуры воздуха были близки к норме, в июне и июле превышали ее на 1,5 и 0,8°C соответственно. Максимальная температура воздуха июня – 30,6°C отмечалась 27 числа, а 1 июля воздух прогрелся до 31,9°C. Среднемесячная температура августа превысила многолетние значения на 5,1°C. Осадков в апреле выпало около половины нормы – 18 мм, в мае недостаток влаги составил 46%. Только в июле сумма осадков соответствовала 90% нормы.

Сопоставление метеоданных с характером роста и развития синюхи показало, что в 2021 г. растения проходили межфазный период «начало отрастания – бутонизация» (апрель–май) при температурах, близких к норме, и достаточном увлажнении. В 2022 г. эти фенологические фазы протекали при недостатке влаги. Что касается фенологических фаз цветения и плодоношения, то они проходили при среднемесячных температурах, превышающих средние многолетние показатели, и недостатке влаги, особенно в 2021 г.

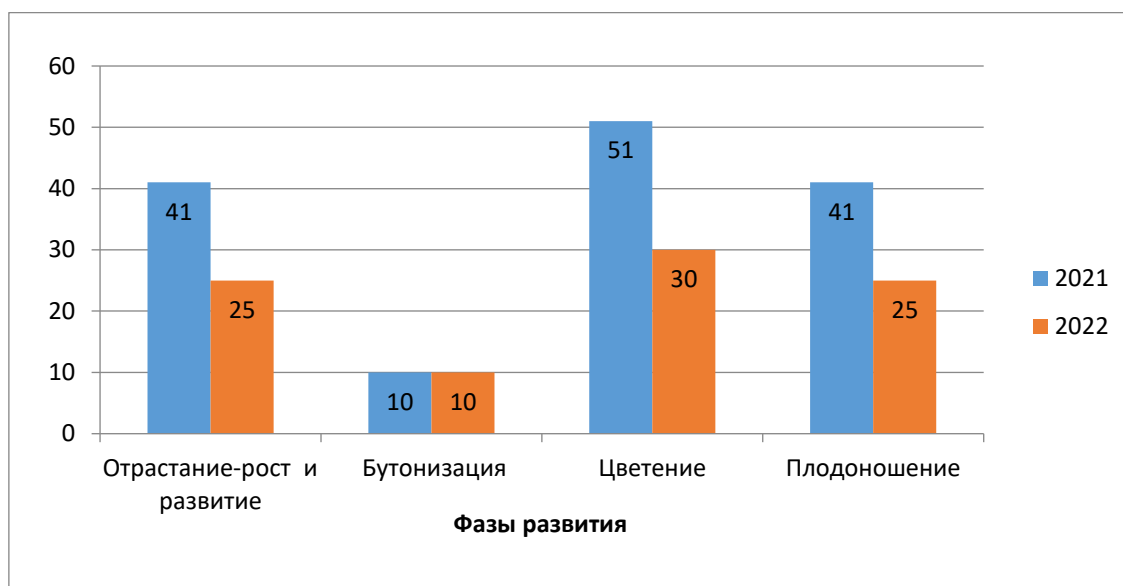


Рисунок 3. Продолжительность фенологических фаз развития синюхи голубой в 2021–2022 гг.

Figure 3. Duration of the phenological phases of the development of blue blueberry in 2021–2022

Продолжительность вегетационного периода в 2021 г. составила 143 дня. Недостаток влаги в начале вегетации (апрель–июнь) и высокие температуры воздуха в июне и июле 2022 г. сократили общую длительность вегетационного периода и всех фенологических фаз синюхи до 90 дней (рис. 3, 4).

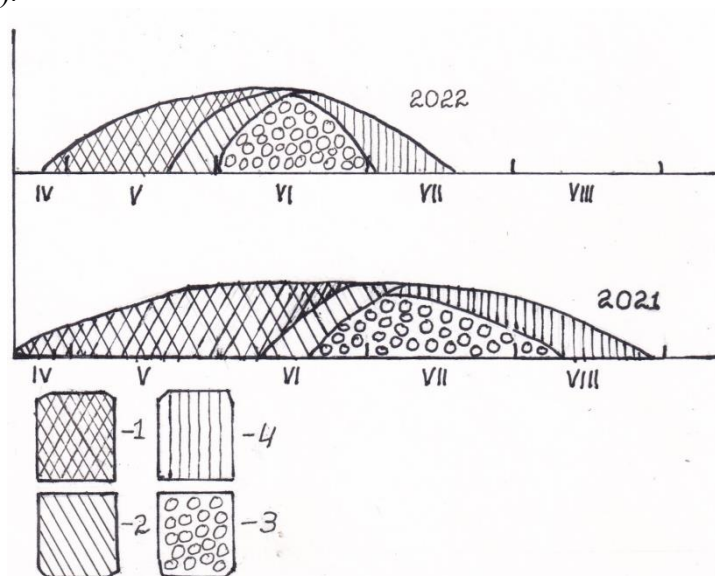


Рисунок 4. Фенологические спектры синюхи голубой в Ленинградской области в 2021–2022 гг.:

1 – отрастание, рост и развитие растений; 2 – бутонизация; 3 – цветение; 4 – плодоношение

Figure 4. Phenological spectra of blue blueberry in the Leningrad region in 2021–2022:

1 – regrowth, growth and development of plants; 2 – budding; 3 – flowering; 4 – fruiting

Морфологическое исследование репродуктивной сферы синюхи голубой показало, что соцветие у нее цимозное – метельчатый тирс. Оси соцветия II порядка нарастают моноподиально, а оси следующих порядков (паракладии) – симподиально. Стебли всех порядков и чашечки цветков покрыты короткими железистыми волосками. Волоски 3–4-клеточные с округлой железистой головкой (рис. 5 А). Редко встречаются длинные волоски, состоящие из 9–10 клеток (рис. 5 Б). Цветок 5-членный, ярко-голубой, хорошо заметен для

насекомых, чашечка остается при развивающейся завязи и сохраняется при плодах, ее лопасти смыкаются и защищают формирующийся плод, а после его созревания чашечка способствует диссеминации. Гинецей в цветке синкарпный, образован 3 плодолистиками. Завязь верхняя, овальная, трехгнездная с числом семязачатков от 12 до 26 шт. Семязачатки анатропные с одним интегументом. Нуцеллус семязачатка слабо развит, плацентация – центрально-угловая, плаценты разрастаются и вдаются в полость гнезд (рис. 6).

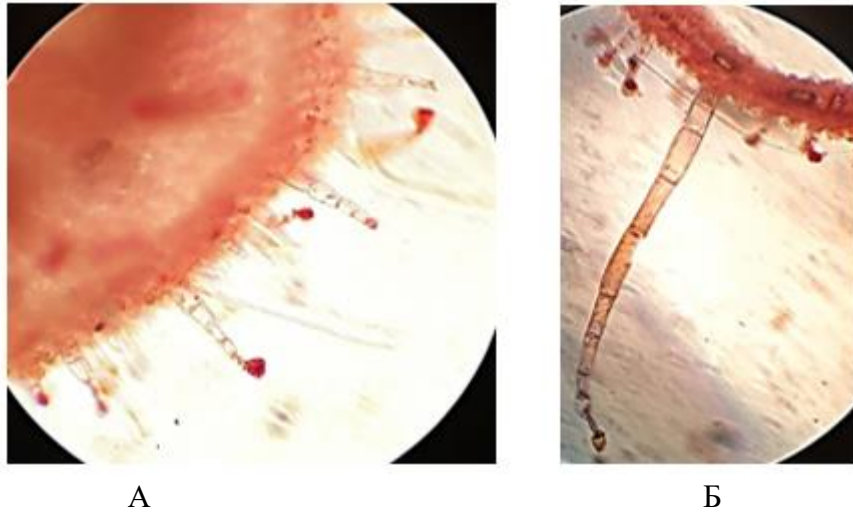


Рисунок 5. Волоски чашечки цветка синюхи голубой: А – короткие железистые волоски; Б – длинный железистый волосок  
Figure 5. The hairs of the cup of the blue blueberry flower are: A – short glandular hairs; B – long glandular hair

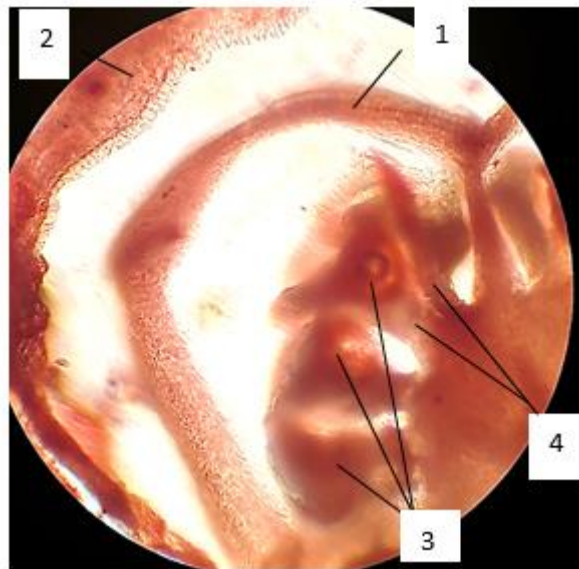


Рисунок 6. Поперечный срез завязи синюхи голубой: 1 – стенка завязи, развивающаяся в перикарпий; 2 – чашечка; 3 – семязачатки; 4 – разросшиеся плаценты  
Figure 6. Cross-section of the ovary of blue blueberry: 1 – ovary wall developing into a pericarp; 2 – calyx; 3 – ovules; 4 – overgrown placentas

Формирование плодов и семян зависит от эффективности опыления. Для синюхи характерна энтомофилия. Её цветки протандричны, пыльники созревают раньше трехлопастного рыльца, лопасти которого сначала сложены вместе, а позже раскрываются и закручиваются. Рыльце и пыльники пространственно разделены, нектарники располагаются

на основании завязи (рис. 7). Эти морфологические приспособления цветка служат для предотвращения самоопыления и способствуют перекрестному опылению. Опылителями цветков синюхи в наших опытах были пчелы и разные виды шмелей. В фазу массового цветения синюхи они активно посещали цветки, на делянках можно было насчитать 5–8 пчел, 4–5 шмелей. По литературным данным, медопродуктивность синюхи в разных условиях колеблется от 80 до 200 кг/га (Глухов М.М., 1944; Бурмистров А.Н., Никитина В.А., 1990).

Формирующиеся после опыления семена имеют изогнуто-продолговатую форму с узким крылом, они угловатые, окраска – темно-коричневая.

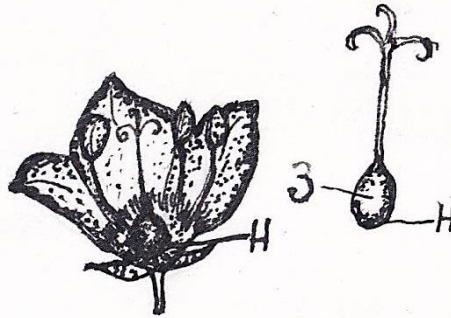


Рисунок 7. Фрагмент цветка синюхи голубой: Н – нектарник; З – завязь  
Figure 7. Fragment of a blue blueberry flower: Н – nectary; З – ovary

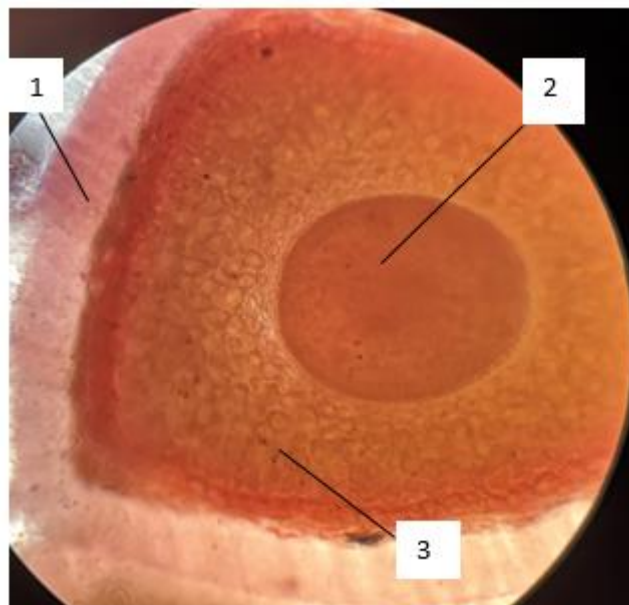


Рисунок 8. Поперечный срез семени синюхи голубой:  
1 – семенная кожура; 2 – зародыш; 3 – эндосперм с алейроновым слоем по периферии  
Figure 8. Cross-section of blue blueberry seed:  
1 – seed peel; 2 – embryo ; 3 – endosperm with aleurone layer on the periphery

Поверхность семенной кожуры – мелкобугорчатая. Эндосперм нуклеарный, хорошо развит, содержит масло, алейроновые зерна и крахмал. Зародыш занимает центральное положение (рис. 8), крупный, зеленоватый, дифференцирован на 2 семядоли, побеговый и корневой апексы, семядоли короче корешка. На срезе зародыша просматриваются тяжи будущей проводящей системы. Семенная кожура представлена крупными клетками, вытянутыми вертикально к поверхности семени. Размеры семян варьируют от 2,0 до 3,2 мм в длину, в среднем – 3,05 мм. В гнезде плода они плотно упакованы и прижаты друг к другу.

Плод у синюхи – яйцевидная трехлопастная, трехгнездная коробочка. Вскрывается по средним жилкам плодолистиков, длина коробочек – 5,0–6,1 мм, ширина – 4,0–5,0 мм.



Перикарпий коробочки довольно твердый, кожистый (рис. 9). Структура перикарпия изменяется в процессе созревания плода, степень изменения экзокарпия и мезокарпия различна. Клетки экзокарпия сминаются, окрашиваются коричневым пигментом и на срезе не просматриваются. Последний слой экзокарпия представлен паренхимными клетками и сохраняется довольно хорошо. Мезокарпий состоит из 3 слоев толстостенных паренхимных клеток, полости клеток сохраняются и содержат многочисленные включения. Эндокарпий и мезокарпий разделены кутикулой.

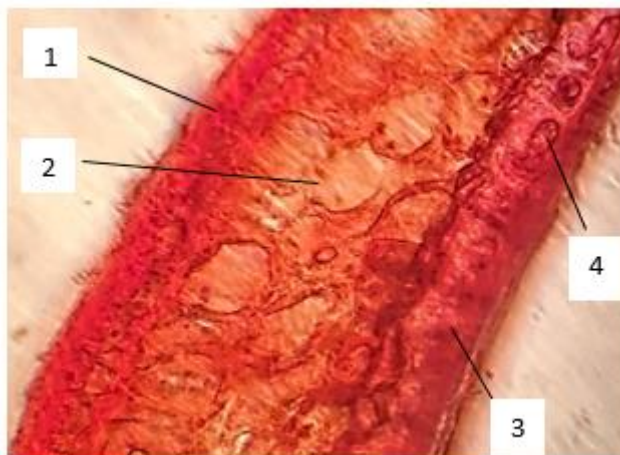


Рисунок 9. Поперечный срез перикарпия синюхи голубой:  
1 – экзокарпий; 2 – мезокарпий; 3 – эндокарпий; 4 – включения  
Figure 9. Cross section of the blue blueberry pericarp:  
1 – exocarp; 2 – mesocarp; 3 – endocarp; 4 – inclusions

Клетки эндокарпия прямоугольные с толстыми стенками и заполнены крупными включениями, с внутренней стороны (со стороны гнезда) они покрыты кутикулой.

Сопоставление данных по структуре урожая и морфометрическим характеристикам растений синюхи показало их различие по годам. Варьировали такие показатели, как число семян в коробочке, число коробочек II порядка, число семян на растении, масса 1000 семян. Но масса семян с одного растения и урожайность оказались примерно одинаковыми (табл. 1). Поэтому семенные плантации целесообразно использовать не только на 2-й год жизни растений, а при надлежащем уходе за растениями более продолжительное время.

Таблица 1. Структура семенной продуктивности синюхи голубой в 2021–2022 гг.  
Table 1. The structure of the seed productivity of blue blueberry in 2021–2022

Год	Среднее число полурозеточных побегов на растении, шт.	Среднее число побегов II порядка, шт.	Среднее число коробочек на побегах II порядка, шт.	Среднее число семян в коробочке, шт.	Среднее число семян на растении, шт.	Масса 1000 семян, г	Масса семян с одного растения, г	Урожайность семян, г/м <sup>2</sup>
2021	6,1	6,6	7,5	15,3	4619,8	1,45	6,699	20,63
2022	5,5	6,5	8,7	18,7	5816,2	1,15	6,687	20,59

Известно, что одна из основных функций плода – распространение семян; эта функция отчасти обусловила морфологическое разнообразие плодов (Левина Р.Е., 1987). Синюху голубую по способу распространения семян можно отнести к баллистам. Синюха имеет все характерные особенности представителей этой группы: многосемянные плоды, вскрывающиеся в верхней части тремя небольшими щелями; единицей распространения (диаспорой) служит семя; коробочки занимают вертикальное положение. Кроме того, стебли

всех порядков к моменту созревания плодов одревесневают, становятся упругими и пружинящими. Диссеминацию обеспечивает любой фактор, раскачивающий растение: это может быть ветер, животные, сельскохозяйственные машины. Причем распространяются семена на близкие расстояния, основная их масса падает в радиусе, равном высоте растения. Поэтому некоторые исследователи отмечают, что синюха хорошо возобновляется в существующих посевах. Все перечисленные экологические особенности распространения семян синюхи, их осыпание после полного созревания плодов необходимо учитывать при ее возделывании на семена. Во избежание потери семян коробочки необходимо убирать до их раскрытия, подсушивать, а потом обмолачивать.

**Выводы.** Эколого-морфологические исследования синюхи голубой в Ленинградской области показали следующее. Длина вегетационного периода синюхи голубой зависит от погодных условий и может значительно сокращаться. Эколого-морфологические особенности цветка обеспечивают активное посещение насекомых и в конечном итоге высокую семенную продуктивность. На семенные цели плантации синюхи голубой целесообразно использовать не только на 2-й год жизни, а более длительное время. Уровень семенной продуктивности в годы исследования почти не различался и составлял 6,7 г с одного растения, хотя структурные показатели варьировали. По способу распространения семян синюху можно отнести к баллистам: созревшие коробочки раскрываясь, рассеивают семена при раскачивании растения. Все экологические особенности диссеминации синюхи голубой необходимо учитывать при организации ее семеноводства.

#### Список источников литературы

1. Найда Н.М. Особенности онтогенеза *Polemonium caeruleum* в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (67). – С. 16–28.
2. Ильина В.Н. Особенности популяционной структуры синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L., *Polemoniaceae*) в Самарской области // Перспективы лекарственного растениеводства: сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Алексея Ивановича Шретера. – 1–2 ноября 2018, ВИЛАР, Москва. – М.: ВИЛАР, 2018. – С. 117–120.
3. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений: учебное пособие / под ред. Г.П. Яковлева. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2015. – 759 с.
4. Ефремов А.П. Лекарственные растения и грибы средней полосы России. Полный атлас-определитель. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Фитон XXI, 2021. – 504 с.
5. Мальцева А.А. Исследование комплекса биологически активных веществ растения *Polemonium caeruleum* L.: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. – М., 2011. – 25 с.
6. Самылина И.А., Сорокина А.А. Атлас лекарственных растений и сырья: учебное пособие по фармакогнозии. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 318 с.
7. Хишова О.М., Щербинин И.Ю., Дубашинская Н.В. Изучение седативной активности капсул сухого экстракта корневищ с корнями синюхи голубой // Вестник фармации. – 2010. – № 4. – С. 59–64.
8. Ким В.Э., Правдюк М.Ф., Коновалов Д.А. Хромато-масс-спектрометрическое исследование фитоэкстракта на основе травы пустырника, корней шлемника байкальского, корневищ с корнями синюхи голубой // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2015. – № 1. – С. 129–131.
9. Гудкова А.А., Шестакова Г.Ю., Сливкин А.И., Чистякова А.С., Агафонов В. А., Чавро П.В. Изучение углеводного состава синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) // Химия растительного сырья. – 2021. – № 3. – С. 107–114. – URL: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/8795> (дата обращения: 22.04.2022).
10. Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А., Чистякова А.С., Агафонов В.А. Органические кислоты синюхи голубой // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – № 1 (138). – С. 85–91. – URL: <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-138-85-91> (дата обращения: 22.04.2022).
11. Tandon, R., Jain, G.K. and Khanna N.M. (1981), “Chemical Examination of *Polemonium coeruleum* Linn”, *Indian J. Chem.*, – Vol. 20. – pp. 46–49.

12. Абрамова Л.М., Каримова О.А., Лебедева М.В. Опыт выращивания *Polemonium caeruleum* L. в лесостепной зоне Башкортостана // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 9. – С. 100–103.
13. Кухарева Л.В., Гиль Т.В., Гончарова Л.В., Кот А.А., Титок В.В. Синюха голубая – *Polemonium caeruleum* L. Технологические аспекты возделывания в условиях Беларуси: сборник трудов международной научной конференции «Перспективы лекарственного растениеводства». – 1–2 ноября 2018, ВИЛАР, Москва. – М.: ВИЛАР. – 2018. – С. 184–187.
14. Глазунова А.В. Вегетативное размножение синюхи голубой: сборник трудов X всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы биохимии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных и других технических культур». – 26–28 февраля, 2019, ВНИИМК, Краснодар. – 2019. – С. 34–36.
15. Ториков В.Е., Мешков И.И. Экология, особенности выращивания и элементарный состав синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) в Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – Брянск: БГСХА. – 2017. – № 1 (59). – С. 61–64.

### References

1. Naida, N.M. (2022), “Features of ontogenesis of *Polemonium caeruleum* in the Leningrad region”, *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, vol. 67, no. 2, pp. 16–28. (in Russian).
2. П'ина, V.N. (2018), “Features of the population structure of blue cyanosis (*Polemonium caeruleum* L., *Polemoniaceae*) in the Samara region”, *Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Perspektivy lekarstvennogo rastenievedeniya”* [Collection of proceedings of the international scientific conference “Prospects for medicinal plant science”], *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Alekseya Ivanovicha Shretera* [International scientific conference “Perspectives of Medicinal Plant Science” dedicated 100th birthday Professor Alexei Ivanovich Schreter], Moskva, Russia, 1–2 noyabrya 2018, pp. 117–120.
3. Bol'shoj enciklopedicheskiy slovar' lekarstvennykh rasteniy uchebnoe posobie (2015) [Large encyclopedic dictionary of medicinal plants], pod red. G.P. Yakovleva, 3-e izd., ispr. i dop., SPb., SpecLit, 759 p. (in Russian).
4. Efremov, A.P. (2021), *Lekarstvennye rasteniya i griby srednej polosy Rossii* [Medicinal plants and mushrooms of central Russia], Polnyj atlas-opredelitel', 2-e izd., ispr. i dop., M., Fiton XXI, 504 p. (in Russian).
5. Mal'ceva, A.A., (2011), “Issledovanie kompleksa biologicheski aktivnykh veshchestv rasteniya *Polemonium caeruleum* L.”, Abstract of Ph.D. dissertation, Moscow, p. 25. (in Russian).
6. Samylina, I.A. and Sorokina, A.A. (2008), *Atlas lekarstvennykh rastenij i syr'ya. Uchebnoe posobie po farmakognozii* [Atlas of Medicinal Plants and Raw Materials: a Study Guide to Pharmacognosy], *Tovarishchestvo nauchnykh izdanij KMK*, p. 318. (in Russian).
7. Hishova, O.M., Shcherbinin, I.YU. and Dubashinskaya, N.V. (2010), “Study of the sedative activity of *Polemonium caeruleum* dry extract”, *Vestnik farmacii*, no. 4, pp. 59–64. (in Russian).
8. Kim, V.E., Pravdyuk, M.F. and Konovalov, D.A. (2015), “Chromatography-mass-spectrometric study of a phytoextract based on motherwort herb, roots of Baikal skullcap, rhizomes with cyanosis blue roots”, *Vestnik VGU, Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya*, no. 1, pp. 129–131. (in Russian).
9. Gudkova, A.A., Shestakova, G.YU., Slivkin, A.I., Chistyakova, A.S., Agafonov, V.A. and Chavro P.V. (2021), “Study of carbohydrate composition of Blue blue (*Polemonium caeruleum* L.), *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, no. 3, pp. 107–114, available at: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/8795>. (Accessed 22 April 2022).
10. Shestakova, G.Yu., Gudkova, A.A., Chistyakova, A.S. and Agafonov, V.A. (2021), “Organic acids of blue jacob's ladder”, *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. no. 1, vol.138, pp. 85–91, (in Russ.) available at: URL: <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-138-85-91>, (Accessed 22 April 2022).
11. Tandon, R., Jain, G.K. and Khanna, N.M. (1981), “Chemical Examination of *Polemonium caeruleum* Linn”, *Indian J. Chem.*, vol. 20, pp. 46–49.
12. Abramova, L.M., Karimova, O.A. and Lebedeva, M.V. (2009), “Experience in growing *Polemonium caeruleum* L. in the forest-steppe zone of Bashkortostan”, *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 9, pp. 100–103. (in Russian).

13. Kuhareva, L.V., Gil', T.V., Goncharova, L.V., Kot, A.A. and Titok, V.V. (2018), “Blue cyanosis – *Polemonium caeruleum* L. Technological aspects of cultivation in Belarus”, *Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Perspektivy lekarstvennogo rastenievovedeniya”* [Collection of proceedings of the international scientific conference “Prospects for medicinal plant science”], *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Aleksey Ivanovicha Shretera* [International scientific conference “Perspectives of Medicinal Plant Science” dedicated 100th birthday Professor Alexei Ivanovich Schreter], Moskva, Russia, 1–2 noyabrya 2018, pp. 184–187.
14. Glazunova, A.V. (2019), “Vegetative reproduction of blue cyanosis”, *X vserossijskoj konferencii molodyh uchenykh i specialistov* [X All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists], *Aktual'nye voprosy biohimii, selekcii, tekhnologii vzdelyvaniya i pererabotki maslichnykh i drugih tekhnicheskikh kul'tur* [Topical issues of biochemistry, breeding, technology of cultivation and processing of oilseeds and other industrial crops], Krasnodar, Russia, 26–28 Fevralya 2019, pp. 34–36.
15. Torikov, V.E. and Meshkov, I.I. (2017), “Ecology, peculiarities of cultivation and elementary composition of blue cyanosis (*Polemonium caeruleum* L.) in the Bryansk region”, *Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, Bryansk, BGSKHA, vol. 59, no.1, pp. 61–64, (in Russian).

#### Сведения об авторе

**Найда Надежда Михайловна** – доктор биологических наук, профессор кафедры земледелия и луговодства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 8936-4524.

#### Information about the authors

**Nadezhda M. Naida** – doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of agriculture and grassland management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Agrarian University», spin-code: 8936-4524.

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

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

*Статья поступила в редакцию 26.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 24.09.2022 г.*

*The article was submitted 26.08.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 24.09.2022.*

Научная статья

УДК 575.22: 582.736

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-20-31

**СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ ЦЕННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВИДОВ РОДА  
*OXYTROPIS* БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ ХЛОРОПЛАСТНОЙ ДНК****Алла Борисовна Холина<sup>1</sup>, Татьяна Эрастовна Позднякова<sup>2</sup>,  
Денис Викторович Санданов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии  
Дальневосточного отделения РАН, пр. 100 лет Владивостоку, д. 159, Владивосток, 690022,  
Россия; kholina@biosoil.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1144-1525>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; erastovna@mail.ru;  
<http://orcid.org/0000-0002-9095-7919>

<sup>3</sup>Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения Российской  
академии наук, ул. Сахьяновой, д. 6, Улан-Удэ, 670047, Россия; sdenis1178@mail.ru;  
<http://orcid.org/0000-0002-8504-3485>

**Реферат.** Виды *Oxytropis lanata* (Pall.) DC., *O. myriophylla* (Pall.) DC. и *O. oxuphylla* (Pall.) DC. обладают лекарственными свойствами и используются в тибетской, монгольской и китайской медицинах. Все они характеризуются узкой экологической приуроченностью к специфическим местообитаниям и нередко образуют изолированные популяции, что несет определенную угрозу снижения генетической изменчивости и адаптивного потенциала вида. Цель исследования – изучить генетическое разнообразие популяций *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxuphylla* Байкальской Сибири по данным анализа нуклеотидного полиморфизма межгенных спейсеров *psbA–trnH*, *trnL–trnF*, *trnS–trnG* хлоропластной ДНК и сформулировать практические рекомендации для сохранения видов. У *O. lanata* выявлены маркерные нуклеотидные замены, что указывает на значительную дивергенцию хлоропластного генома вида. Анализ генеалогических связей показал разделение гаплотипов *O. oxuphylla* на две филетические линии. Низкие значения дифференциации и отсутствие нуклеотидной дивергенции между популяциями у *O. myriophylla* свидетельствуют о том, что вид представляет собой генетически однородную группу. Большинство популяций характеризуются высоким уровнем гаплотипического разнообразия (0,700–1,000), что указывает на относительно стабильное их состояние. Только три популяции *O. lanata* и четыре популяции *O. oxuphylla* показывают возможную недавнюю демографическую экспансию – пространственное расширение с высоким уровнем генного потока между соседними популяциями. Низкий уровень нуклеотидного разнообразия (0,0003–0,0045) в популяциях трех видов, отсутствие нуклеотидных замен во всех популяциях *O. myriophylla* и некоторых популяциях *O. lanata* и *O. oxuphylla*, а также узкая экологическая приуроченность этих видов указывают на необходимость использования определенных мер по охране всех известных местообитаний, проведения поиска новых местонахождений видов, изучения демографической структуры, жизнеспособности, генетического разнообразия популяций и регулярного мониторинга их состояния.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, *Oxytropis*, генетическое разнообразие, генетическая дивергенция, хлоропластная ДНК

**Цитирование.** Холина А.Б., Позднякова Т.Э., Санданов Д.В. Состояние популяций ценных лекарственных видов рода *Oxytropis* Байкальской Сибири по данным хлоропластной ДНК // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 20 – 31 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-20-31.

**STATUS OF POPULATIONS OF VALUABLE MEDICINE SPECIES  
OF THE OXYTROPIS GENUS BAYKAL SIBERIA ACCORDING TO CHLOROPLAS  
DNA DATA****Alla B. Kholina<sup>1</sup>, Tatyana E. Pozdnyakova<sup>2</sup>, Denis V. Sandanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, pr. 100 let Vladivostoku, 159, Vladivostok, 690022, Russia; kholina@biosoil.ru;  
<http://orcid.org/0000-0003-1144-1525>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; erastovna@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9095-7919>

<sup>3</sup>Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Sakhyanovoi st., 6, Ulan-Ude, 670047, Russia; sdenis1178@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-8504-3485>

**Abstract.** *Oxytropis lanata* (Pall.) DC., *O. myriophylla* (Pall.) DC. and *O. oxyphylla* (Pall.) DC. species have medicinal properties and are used in Tibetan, Mongolian and Chinese medicine. All of them are characterized by narrow ecological confinement to specific habitats and often form isolated populations, which carries a certain threat of reducing the genetic variability and adaptive potential of the species. The aim of the study was to investigate the genetic diversity of *O. lanata*, *O. myriophylla* and *O. oxyphylla* populations in Baikal Siberia based on nucleotide polymorphism analysis of intergenic spacer *psbA-trnH*, *trnL-trnF*, and *trnS-trnG* chloroplast DNA and formulate practical recommendations for species conservation. In *O. lanata*, marker nucleotide substitutions were detected, indicating significant divergence in the chloroplast genome of the species. Analysis of the genealogical relationships showed a division of the haplotypes of *O. oxyphylla* into two phyletic lines. The low values of differentiation and the absence of nucleotide divergence between populations in *O. myriophylla* indicate that the species is a genetically homogeneous group. Most populations are characterized by a high level of haplotype diversity (0.700 – 1.000), which indicates that they are relatively stable. Only three populations of *O. lanata* and four populations of *O. oxyphylla* show possible recent demographic expansion, a spatial expansion with high levels of gene flow between neighboring populations. The low level of nucleotide diversity (0.0003 – 0.0045) in the populations of the three species, the absence of nucleotide substitutions in all populations of *O. myriophylla* and some populations of *O. lanata* and *O. oxyphylla*, and the narrow ecological confinement of these species indicate the need for certain measures to protect all known habitats, search for new species locations, study the demographic structure, viability, genetic diversity of populations and regularly monitor their condition.

**Keywords:** medicinal plants, *Oxytropis*, genetic diversity, genetic divergence, chloroplast DNA

**Citation.** Kholina, A.B., Pozdnyakova, T.E. and Sandanov, D.V. (2022), “Status of populations of valuable medicine species of the *Oxytropis* genus Baykal Siberia according to chloroplast DNA data” based on analysis of chloroplast DNA”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 20–31, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-20-31.

**Введение.** Род *Oxytropis* DC. – один из крупнейших родов семейства Fabaceae, распространенный в умеренной и арктической зонах Северного полушария, появился предположительно на границе миоцена и плиоцена в Южной Сибири [1; 2]. Позднее возникли вторичные центры видообразования, среди которых Байкальская Сибирь стала очагом формирования комплекса видов [1; 3]. Многие виды *Oxytropis* Байкальской Сибири и прилегающих территорий Забайкалья и Северной Монголии обладают лекарственными свойствами и используются в тибетской, монгольской и китайской медицинах в качестве кровоостанавливающих, диуретических, сердечнососудистых, противовоспалительных и жаропонижающих средств [4; 5; 6; 7]. Широкий спектр обусловлен разнообразием и сложностью химических веществ, главными действующими веществами считаются

флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, кумарины, алкалоиды и сапонины [4; 5; 6; 7]. Особое внимание исследователей привлекают виды *O. lanata* (Pall.) DC., *O. myriophylla* (Pall.) DC. и *O. oxyphylla* (Pall.) DC. секции *Verticillares* DC. (рис. 1).

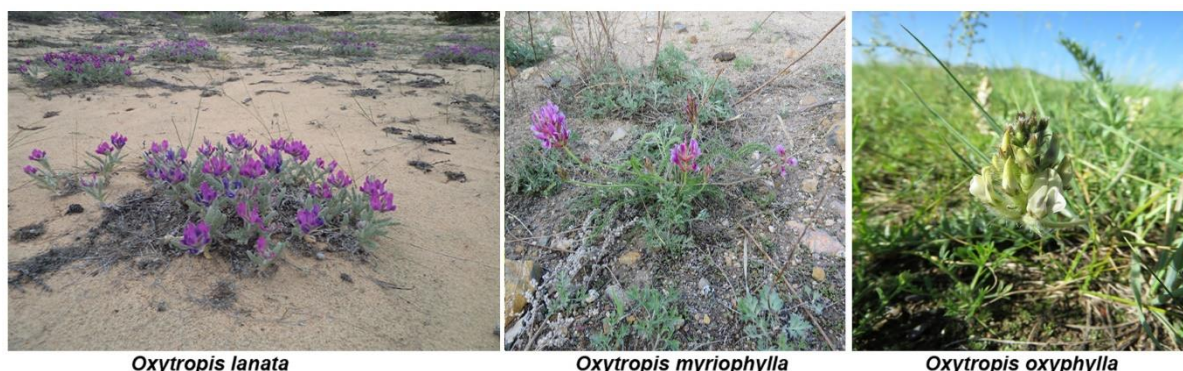


Рисунок 1. Фотографии растений *Oxytropis lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* в естественных местах обитания

Figure 1. Photographs of *Oxytropis lanata*, *O. myriophylla*, and *O. oxyphylla* plants in natural habitats

*O. lanata* (Остролодка шерстистая) – южносибирский степной вид с дизъюнктивным ареалом, встречается также в Северной Монголии. Вид занесен в «Красную книгу Забайкальского края» (2017) и «Красную книгу Республики Саха (Якутия)» (2000). В надземной части растений обнаружены тритерпеноиды, флавоноиды и фенолкарбоновые кислоты [4; 5; 7]. Настой, отвар и экстракт корней *O. lanata* проявляют антигипоксические, анальгезирующие и депримирующие свойства [8], а водно-спиртовой экстракт надземной части – противовирусную активность в отношении парагриппозного вируса Сендай [9]. Кроме того, в настоящее время проводятся интенсивные исследования биологически активных веществ *O. lanata*, проявляющих высокую ингибирующую активность против трипаносомоза животных [10; 11], что весьма актуально, так как протозойные заболевания, поражающие домашний скот и угрожающие здоровью людей, представляют серьезную проблему. *O. myriophylla* (Остролодка тысячелистная) – южносибирский лугово-степной вид с дизъюнктивным ареалом, встречается также в Северном Китае и Монголии [3]. В растениях обнаружены кумарины, алкалоиды, флавоноиды и тритерпеновые гликозиды [4; 5; 6; 7]. *O. myriophylla* применяют в китайской и монгольской медицинах [7; 12], а также в тибетской медицине при сердечно-сосудистых и острых инфекционных заболеваниях, сепсисе, интоксикациях. Отмечена его высокая антигистаминная активность, кроме того, *O. myriophylla* использовали как болеутоляющее средство при зубной боли [4; 5; 7]. С учетом последнего был разработан препарат «Ортудент» в виде геля и раствора, при обработке которым происходило увеличение фосфора, калия, никеля и цинка в твердых тканях зубов [13]. *O. oxyphylla* (Остролодка остролистная) – высокополиморфный распространенный вид, его ареал включает Южную и Восточную Сибирь, а также Северную Монголию и Северную Маньчжурию [3]. Надземная часть растения содержит фенолкарбоновые кислоты, алкалоиды и флавоноиды, в корнях обнаружены кумарины, проявляющие противоопухолевую активность в эксперименте [4; 5; 7; 8]. Настой корней *O. oxyphylla* обладает выраженным противогипоксическим и седативным действием [8]. В Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии на основе экстракта из надземной части разработан препарат «Оксофил» для лечения ринитов, обладающий противогипоксическим, анальгезирующим и противовоспалительным действием, а также способствующий восстановлению пораженных тканей [14]. Попытки интродукции *O. oxyphylla* в Центральном Сибирском Ботаническом саду не были успешны, что свидетельствует об ограниченных адаптационных возможностях вида [15]. Все три вида *Oxytropis* характеризуются узкой экологической приуроченностью к

специфическим местообитаниям, они нередко образуют изолированные популяции, что несет определенную угрозу снижения генетического разнообразия и адаптивного потенциала вида.

Для сохранения природных популяций ценных лекарственных видов растений необходима оценка их генетических ресурсов. В настоящее время для изучения генетической изменчивости надежными и востребованными являются молекулярные маркеры хлоропластной ДНК (хпДНК) [2; 16; 17; 18], в том числе межгенные спейсеры *psbA-trnH*, *trnL-trnF* и *trnS-trnG* хпДНК для видов рода *Oxytropis* [19; 20].

**Цель исследования.** Изучить генетическое разнообразие природных популяций лекарственных видов *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* по данным анализа нуклеотидного полиморфизма межгенных спейсеров *psbA-trnH*, *trnL-trnF*, *trnS-trnG* хпДНК и сформулировать практические рекомендации для сохранения видов.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Материалом для исследования служили 189 растений из 19 природных популяций *O. lanata* (61 образец, 5 популяций), *O. myriophylla* (54 образца, 6 популяций) и *O. oxyphylla* (74 образца, 8 популяций) Байкальской Сибири и прилегающих территорий Забайкальского края и Северной Монголии (табл. 1). Последовательности трех межгенных спейсеров хпДНК образцов популяций LAN1–LAN3 *O. lanata*, MYR1–MYR3 *O. myriophylla* и OXY1–OXY4 *O. oxyphylla* были получены нами ранее [20].

Таблица 1. Исследуемые популяции *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla*  
Table 1. The studied populations of *O. lanata*, *O. myriophylla* and *O. oxyphylla*

Вид	Происхождение образца (число образцов)	Код популяции	Гаплотип
<i>O. lanata</i>	Республика Бурятия, окр. с. Унэгэтэй (20)	LAN1	V1–V21
	Республика Бурятия, окр. с. Уржил (15)	LAN2	
	Монголия, окр. сомона Аргалант (5)	LAN3	
	Иркутская область, о-в Ольхон (10)	LAN4	
	Республика Бурятия, окр. с. Тунка (11)	LAN5	
<i>O. myriophylla</i>	Забайкальский край, окр. с. Цугол (5)	MYR1	V22–V36
	Республика Бурятия, окр. с. Удинск (21)	MYR2	
	Республика Бурятия, окр. с. Комсомольское (8)	MYR3	
	Республика Бурятия, окр. с. Мухор-Кондуй (6)	MYR4	
	Республика Бурятия, окр. с. Бичура (8)	MYR5	
	Забайкальский край, окр. с. Соктуй-Милозан (6)	MYR6	
<i>O. oxyphylla</i>	Забайкальский край, окр. оз. Ножий (5)	OXY1	V37–V82
	Республика Бурятия, окр. с. Новоселенгинск (15)	OXY2	
	Республика Бурятия, окр. с. Комсомольское (8)	OXY3	
	Монголия, окр. сомона Рашаант (5)	OXY4	
	Республика Бурятия, окр. с. Малый Куналей (10)	OXY5	
	Республика Бурятия, окр. с. Монды (10)	OXY6	
	Забайкальский край, окр. с. Домна (11)	OXY7	
	Иркутская обл., окр. с. Узуры (10)	OXY8	

Индивидуальные препараты тотальной ДНК выделены из высушенных листьев с использованием набора DNeasy Plant Mini Kits (Qiagen, Hilden, Germany) согласно протоколу производителя. Нуклеотидные последовательности прямых и обратных цепей определяли на генетическом анализаторе ABI 3130 (Applied Biosystems, USA) в ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток). Редактирование, сборку и выравнивание последовательностей проводили с помощью пакета программ Staden Package и программы SeaView. Гаплотипическое (*h*) и нуклеотидное ( $\pi$ ) разнообразие, уровень дифференциации и распределение генетической изменчивости внутри и между популяциями (индекс фиксации  $\Phi_{ST}$ , анализ молекулярной дисперсии, AMOVA) рассчитывали с помощью пакета программ Arlequin. Определение



степени дивергенции между популяциями ( $D_{xy}$ ) на основе нуклеотидных замен и анализ распределения парных нуклеотидных различий (mismatch distribution) проводили в программе DnaSP. Генеалогические связи гаплотипов анализировали методом медианного соединения (Median Joining, MJ) в программе Network, кодируя каждую делецию или вставку независимо от их размера как единичное мутационное событие. В качестве внешней группы использовали последовательности *O. glabra* (Lam.) DC. секции *Mesogaea* Bunge подрода *Phacoxytropis* Bunge [19].

**Результаты исследования.** Анализ полиморфизма нуклеотидных последовательностей межгенных спейсеров *psbA-trnH*, *trnL-trnF* и *trnS-trnG* хпДНК показал, что длина каждого из регионов у исследуемых образцов разная вследствие присутствия инделей, мононуклеотидных (поли-А/поли-Т) и динуклеотидных (ТА-мотив) повторов. Длина объединенных последовательностей трех регионов 189 представителей видов *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* после выравнивания составила 2456 сайтов, из них 2359 мономорфных и 20 переменных. Двенадцать нуклеотидных замен были информативны согласно методу максимальной экономии. Представители *O. lanata* маркируются двумя нуклеотидными заменами: А в позиции 1144 (*trnL-trnF*) и С в позиции 2108 общей матрицы, у *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* маркеров не обнаружено. Наличие молекулярных маркеров у *O. lanata* указывает на значительную дивергенцию его хлоропластного генома.

Большинство популяций трех видов характеризуются высоким гаплотипическим ( $h$  изменяется от 0,700 до 1,000) и относительно низким нуклеотидным ( $\pi$  изменяется от 0,0003 до 0,0045) разнообразием (табл. 2). Сочетание высоких значений гаплотипического разнообразия при низких значениях нуклеотидного разнообразия предполагает быстрый рост популяции из древней популяции с низким эффективным размером [21], при этом временной интервал должен быть достаточным для восстановления гаплотипического разнообразия посредством мутаций, но недостаточным для накопления значительных различий в последовательностях.

Таблица 2. Генетическое разнообразие популяций видов *Oxytropis lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* по данным хпДНК

Table 2. Genetic diversity of *O. lanata*, *O. myriophylla*, and *O. oxyphylla* populations according to cpDNA data

Вид	Код популяции	Разнообразие (стандартное отклонение)	
		гаплотипическое	Нуклеотидное
<i>O. lanata</i>	LAN1	0,895±0,051	0,0010±0,0006
	LAN2	0,895±0,052	0,0010±0,0006
	LAN3	0,900±0,161	0,0017±0,0012
	LAN4	0,378±0,181	0,0003±0,0002
	LAN5	0,545±0,072	0,0029±0,0017
<i>O. myriophylla</i>	MYR1	0,700±0,218	0,0003±0,0003
	MYR2	0,767±0,057	0,0007±0,0005
	MYR3	0,821±0,101	0,0008±0,0005
	MYR4	0,867±0,129	0,0005±0,0004
	MYR5	0,857±0,108	0,0014±0,0009
	MYR6	0,733±0,155	0,0006±0,0005
<i>O. oxyphylla</i>	OXY1	0,900±0,161	0,0007±0,0005
	OXY2	0,958±0,036	0,0023±0,0013
	OXY3	0,964±0,077	0,0045±0,0026
	OXY4	1,000±0,177	0,0042±0,0029
	OXY5	0,956±0,059	0,0020±0,0012
	OXY6	0,533±0,180	0,0005±0,0004
	OXY7	0,800±0,114	0,0006±0,0005
	OXY8	0,978±0,054	0,0035±0,0020

В двух популяциях *O. lanata* (LAN4 и LAN5) и одной популяции *O. oxiphylla* (OXY6) определены низкие значения гаплотипического разнообразия (0,378; 0,545 и 0,533 соответственно), что обычно связывают с прохождением популяции через «бутылочное горлышко», т. е. резкое сокращение численности с последующим ее восстановлением.

Согласно результатам AMOVA, у *O. lanata* и *O. oxiphylla* генетическая изменчивость распределена почти в равных долях между популяциями и внутри них ( $\Phi_{ST}=0,43049$  и  $\Phi_{ST}=0,51295$  соответственно;  $P<0,0001$ ). Анализ распределения изменчивости у *O. myriophylla* показал, что основная доля всей генетической изменчивости (более 87%) приходится на внутрипопуляционную составляющую и около 13% – на межпопуляционную ( $\Phi_{ST}=0,12707$ ;  $P<0,0001$ ). Другим показателем степени генетической разобщенности между популяциями является дивергенция нуклеотидных последовательностей ( $D_{xy}$ ). У *O. lanata* межпопуляционные значения  $D_{xy}$  (среднее число нуклеотидных замен на один сайт и среднее число нуклеотидных различий (число фиксированных различий)) изменяются от 0,00008 до 0,00053 и от 0,200 (0) до 1,267 (1) соответственно, наименьшая дивергенция определена между популяциями LAN2 и LAN4, наибольшая – LAN2 и LAN3. У *O. oxiphylla* межпопуляционные значения  $D_{xy}$  изменяются от 0,00004 до 0,00172 и от 0,198 (0) до 4,100 (0), наименьшая дивергенция определена между популяциями OXY6 и OXY7, наибольшая – между OXY1 и OXY8. Следует отметить, что OXY8 значительно дивергирована от всех других популяций *O. oxiphylla*. У *O. myriophylla* межпопуляционная дивергенция отсутствует, так как нуклеотидных замен нет, а полиморфизм проявляется лишь в присутствии моно- и динуклеотидных повторов разной длины. Низкая популяционная дифференциация и отсутствие межпопуляционной нуклеотидной дивергенции у *O. myriophylla* обусловлены, вероятно, непрекращающимся обменом генами через цепь промежуточных локальных местообитаний.

Для реконструкции демографических историй популяций проведен анализ распределения частот парных нуклеотидных различий между гаплотипами в популяциях LAN1–LAN3, OXY1–OXY5, OXY7 и OXY8 как тест на изменение численности популяции. В гаплотипах LAN4, LAN5, OXY6 и всех популяций *O. myriophylla* нуклеотидных замен нет. Гистограммы показывают (рис. 2), что только в популяциях OXY3, OXY4 и OXY8 выявлены значительные различия между ожидаемым и наблюдаемым распределением парных нуклеотидных различий и бимодальный характер наблюдаемого распределения, соответствующие модели демографического равновесия, т. е. длительной популяционной стабильности (постоянный популяционный размер). Во всех остальных популяциях (LAN1–LAN3, OXY1, OXY2, OXY5 и OXY7) две кривые совпадают или показывают относительно хорошее совпадение и имеют унимодальный характер распределения (рис. 2), что свидетельствует о возможной недавней демографической экспансии или о пространственном расширении с высоким уровнем генного потока между соседними популяциями.

Анализ объединенной матрицы нуклеотидных последовательностей трех межгенных спейсеров 189 образцов *Oxytropis* выявил 82 гаплотипа (V1–V82): *O. lanata* принадлежит 21 гаплотип (V1–V21), из них 12 уникальных; *O. myriophylla* – 15 гаплотипов (V22–V36), из них 7 уникальных; *O. oxiphylla* – 46 гаплотипов (V37–V82), из них 36 уникальных. Общих гаплотипов для трех видов не обнаружено. На рис. 3 представлена медианная сеть генеалогических связей между гаплотипами, в которой можно выделить четыре гаплогруппы (I–IV).

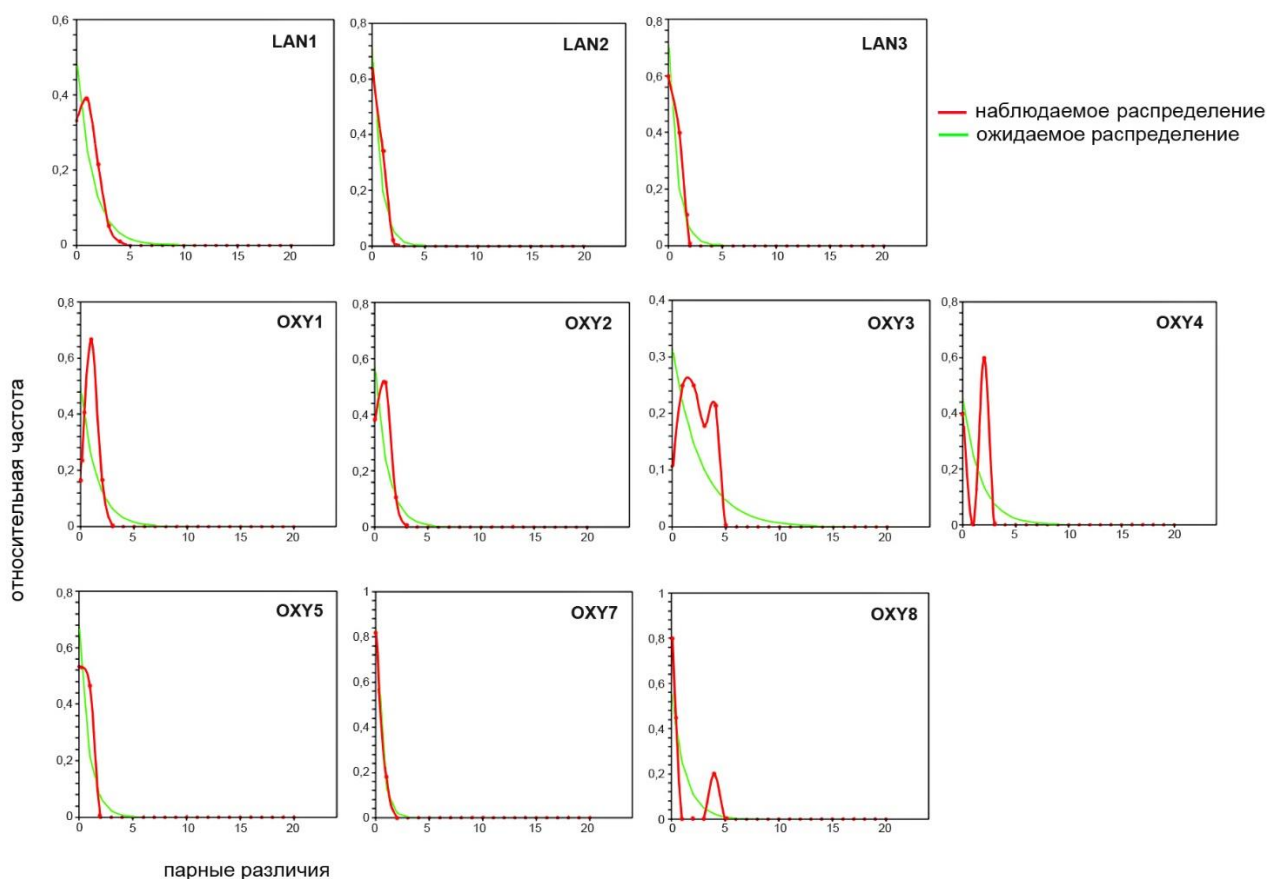


Рисунок 2. Гистограммы попарного распределения нуклеотидных различий в популяциях *O. lanata* и *O. oxiphylla*. Код популяции см. табл. 1  
Figure 2. Histograms of pairwise distribution of nucleotide differences in *O. lanata* and *O. oxiphylla* populations. Population code see Table 1

Все гаплотипы *O. lanata* и все гаплотипы *O. myriophylla* образуют гаплогруппы I и II соответственно, а гаплотипы *O. oxiphylla* распределились в двух гаплогруппах: гаплогруппу III сформировали гаплотипы популяций OXY1–OXY7 и один гаплотип OXY8, гаплогруппу IV – все другие гаплотипы OXY8. Таким образом, у *O. oxiphylla* обнаружены две филогенетические линии. Следует отметить, что распределение гаплотипов в гаплогруппах не соответствует популяционной принадлежности. В гаплогруппах I–III присутствуют хорошо выраженные «звездчатые» структуры с одним из гаплотипов в центре, например, в гаплогруппе II гаплотип V23 образует такую структуру и связан с гаплотипами V24, V29, V32, V33 и V35 через один мутационный шаг (рис. 3), что свидетельствует о недавнем происхождении популяций на исследованной части ареала.

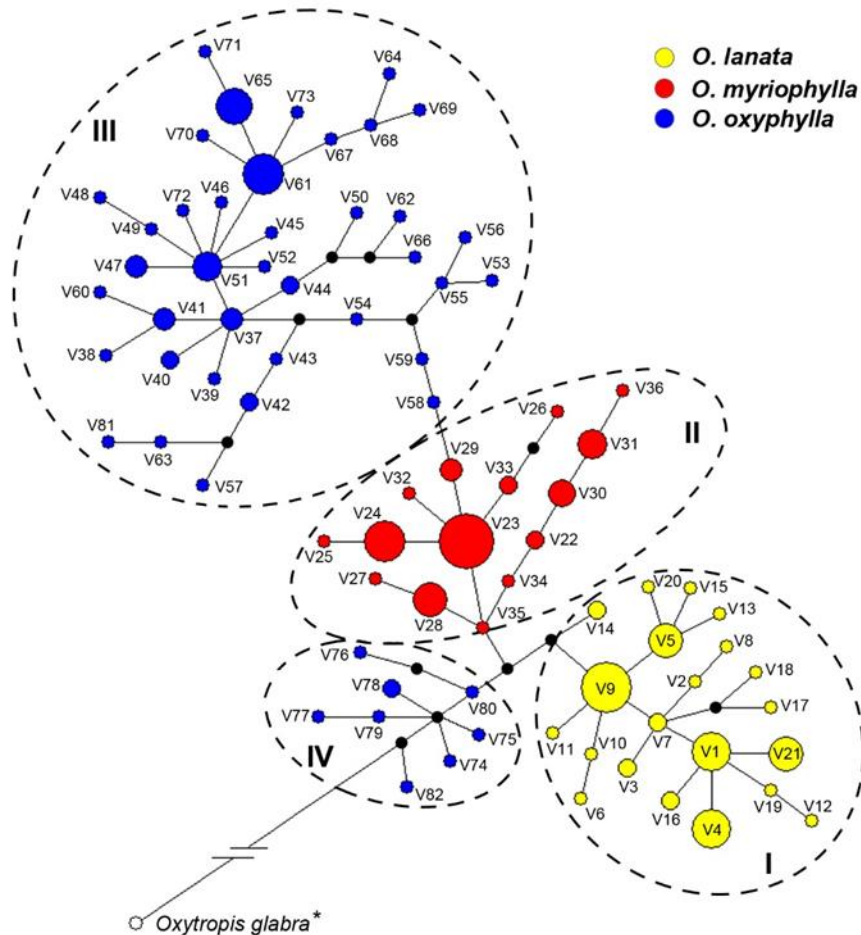


Рисунок 3. Медианная сеть генеалогических связей гаплотипов *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla*, построенная с помощью MJ-метода. Размер окружностей отражает частоту встречаемости гаплотипов, маленькие черные кружки – медианные векторы, пунктирной линией обозначены гаплогруппы I–VI. Код гаплотипа см. табл. 1. \*Последовательности *O. glabra* использованы в качестве внешней группы

Figure 3. Median network of genealogical relationships of haplotypes of *O. lanata*, *O. myriophylla*, and *O. oxyphylla* constructed using the MJ method. Opened circles represent sampled haplotypes, their relative sizes are proportional to haplotype frequencies, the small black circles are median vectors, and the dotted line indicates haplogroups I–VI.

Haplotype code, see Table 1. \**O. glabra* sequences were used as an outgroup

**Выводы.** Высокий уровень гаплотипического разнообразия у большинства изученных популяций лекарственных видов *O. lanata*, *O. myriophylla* и *O. oxyphylla* Байкальской Сибири указывает на относительно стабильное их состояние. Особое внимание необходимо обратить на популяции с низким уровнем полиморфизма, который не может обеспечить адаптивный потенциал и увеличивает риск их исчезновения. Только три популяции *O. lanata* и четыре популяции *O. oxyphylla* показывают возможную недавнюю демографическую экспансию, т. е. пространственное расширение с высоким уровнем генного потока между соседними популяциями. Низкий уровень нуклеотидного разнообразия и отсутствие нуклеотидных замен во всех популяциях *O. myriophylla* и некоторых популяциях *O. lanata* и *O. oxyphylla*, а также узкая экологическая приуроченность этих видов указывают на необходимость использования определенных мер по охране всех известных местообитаний, проведения поиска новых местонахождений видов, изучения демографической структуры, жизнеспособности, генетического разнообразия популяций и регулярного мониторинга их состояния.

## Список источников литературы

1. Положий А.В. К вопросу о происхождении и эволюции рода *Oxytropis* (Fabaceae) // Ботанический журнал. – 2003. – Т. 88. – № 10. – С. 55–59.
2. Shavvon R.S., Kazempour-Osaloo S., Maassoumi A.A., Moharrek F., Karaman Erkul S., Lemmon A., Lemmon E.M., Michalak I., Muellner-Riehl A.N., Favre A. Increasing phylogenetic support for explosively radiating taxa: The promise of high-throughput sequencing for *Oxytropis* (Fabaceae) // Journal of Systematics and Evolution. – 2017. – Vol. 55. – № 4. – P. 385–404. – URL: <https://doi.org/10.1111/jse.12269>.
3. Малышев Л. И. Разнообразие рода Остролодка (*Oxytropis*) в Азиатской России // Turczaninowia. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 5–141.
4. Блинова К.Ф., Саканян Е.И. Виды *Oxytropis* DC., применяемые в тибетской медицине, и их флавоноидный состав // Растительные ресурсы. – 1986. – Т. 22. – Вып. 2. – С. 266–272.
5. Пovyдыш М.Н., Бобылева Н.С., Битюкова Н.В. Сем. Fabaceae Lindl // Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2010. – Т. 3. – С. 66–68.
6. Li M.X., Lan Zh.H., Wei L.L., Zhang W.J., Zhang R.X., Jia Zh.P. Phytochemical and biological studies of plants from the genus *Oxytropis* // Records of Natural Products. – 2012. – Vol. 6. – № 1. – P. 1–20.
7. Amir Khanova A.Sh., Ustenova G.O. Review of the current status of study *Oxytropis* // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. – 2018. – Vol. 11. – Iss. 4. – P. 50–55. doi: 10.22159/ajpcr.2018.v11i4.23656.
8. Коноплева Е.В. Сравнительная характеристика обезболивающего и противогипоксического действия настоев некоторых видов *Oxytropis* DC. // Растительные ресурсы. – 1989. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 254–258.
9. Аркадьева Г.Е., Блинова К.Ф., Комарова М.Н. К антибиотической оценке лекарственных растений тибетской медицины // Растительные ресурсы. – 1966. – Т. 2. – Вып. 2. – С. 218–223.
10. Buyankhishig B., Murata T., Suganuma K., Batkhoo J., Sasaki K. Hyaluronidase inhibitory saponins and a trypanocidal isoflavonoid from the aerial parts of *Oxytropis lanata* // Fitoterapia. – 2020. – Vol. 145. – Article 104608. – P. 1–8. doi:10.1016/j.fitote.2020.104608.
11. Murata T., Batkhoo J. Biological activity evaluations of chemical constituents derived from Mongolian medicinal forage plants and their applications in combating infectious diseases and addressing health problems in humans and livestock // Journal of Natural Medicines. – 2021. – May. – P. 1–12. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11418-021-01529-7>.
12. Wurchaih H., Menggenqiqig K. Medicinal wild plants used by the Mongol herdsmen in Bairin Area of Inner Mongolia and its comparative study between TMM and TCM // Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. – 2019. – Vol. 15. – № 32. – P. 1–18. – URL: <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0300-9>.
13. Пурэвсүрэн С., Цэцэгмаа С., Нарантуяа С., Мягмар Л., Менгенцэцэг Л., Федосеева Г.М. К вопросу фитохимического и фармакологического изучения остролодочника тысячелистного (*Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.) // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2002. – Т. 31. – № 2. – С. 53–55.
14. Кабишев К.Э., Саканян Е.И. Количественное определение суммы флавоноидных соединений в интраназальных лекарственных формах препарата «Оксофил» с полиэкстрактом из надземной части *Oxytropis oxurphylla* (Pall.) DC. // Растительные ресурсы. – 2002. – Т. 38. – Вып. 4. – С. 120–127.
15. Полезные растения Хакасии. Ресурсы и интродукция / отв. ред. Соболевская К.А. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. – 1989. – С. 84–86.
16. Shepherd L.D., Lange P.J., Perrie L.R., Heenan P.B. Chloroplast phylogeography of New Zealand *Sophora* trees (Fabaceae): extensive hybridization and widespread Last Glacial Maximum survival // Journal of Biogeography. – 2017. – Vol. 44. – P. 1640–1651. – URL: <https://doi.org/10.1111/jbi.12963>.
17. Blanco-Pastor J.L., Fernández-Mazuecos M., Coello A.J., Pastor J., Vargas P. Topography explains the distribution of genetic diversity in one of the most fragile European hotspots // Diversity and Distributions. – 2019. – Vol. 25. – P. 74–89. doi: 10.1111/ddi.12836.

18. Wang H., Liu P.-L., Li J., Yang H., Li Q., Chang Zh.-Y. Why more leaflets? The role of natural selection in shaping the spatial pattern of leaf-shape variation in *Oxytropis diversifolia* (Fabaceae) and two close relatives // *Frontiers in Plant Science*. – 2021. – Vol. 12. – Article 681962. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.681962>
19. Холина А.Б., Козыренко М.М., Артюкова Е.В., Санданов Д.В. Современное состояние популяций эндемичных видов *Oxytropis* Байкальской Сибири и их филогенетические связи по данным секвенирования маркеров хлоропластной ДНК // *Генетика*. – 2018. – Т. 54. – № 7. – С. 795–806. doi: 10.1134/S0016675818070056
20. Холина А.Б., Козыренко М.М., Артюкова Е.В., Санданов Д.В. Дивергенция видов *Oxytropis* секции *Verticillares* (Fabaceae) степной флоры Байкальской Сибири на основе анализа хлоропластной ДНК // *Генетика*. – 2019. – Т. 55. – № 6. – С. 665–674. doi: 10.1134/S0016675819060055
21. Avise J.C. *Phylogeography: The history and formation of species*. – Cambridge, MA: Harvard University Press, – 2000. – 441 p.

### References

1. Polozhiy, A.V. (2003), “To the question of the origin and evolution of the genus *Oxytropis* (Fabaceae)”, *Botanicheskiy Zhurnal*, vol. 88, no. 10, pp. 55–59. (in Russian).
2. Shavvon, R.S., Kazempour-Osaloo, S., Maassoumi, A.A., Moharrek, F., Karaman Erkul, S., Lemmon, A., Lemmon, E.M., Michalak, I., Muellner-Riehl, A.N. and Favre, A. (2017), “Increasing phylogenetic support for explosively radiating taxa: The promise of high-throughput sequencing for *Oxytropis* (Fabaceae)”, *Journal of Systematics and Evolution*, vol. 55, no. 4, pp. 385–404, available at: <https://doi.org/10.1111/jse.12269>. (Accessed 8 June 2022).
3. Malyshev, L. (2008), “Diversity of the genus *Oxytropis* in Asian Russia”, *Turczaninowia*, vol. 11, no. 4, pp. 5–141. (in Russian).
4. Blinova, K.F. and Sakanyan, E.I. (1986), “Species of *Oxytropis* DC. used in Tibetan medicine and their flavonoid composition”, *Rastitel'nye Resursy*, vol. 22, iss. 2, pp. 266–272. (in Russian).
5. Povydysh, M.N., Bobyleva, N.S. and Bityukova, N.V. (2010), “Sem. Fabaceae Lindl.”, *Rastitel'nye Resursy Rossii: Dikorastushchie tsvetkovye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost* [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their composition and biological activity], Saint-Petersburg, *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, vol. 3, pp. 66–68. (in Russian).
6. Li, M.X., Lan, Zh.H., Wei, L.L., Zhang, W.J., Zhang, R.X. and Jia, Zh.P. (2012), “Phytochemical and biological studies of plants from the genus *Oxytropis*”, *Records of Natural Products*, vol. 6, no. 1, pp. 1–20.
7. Amirkhanova, A.Sh. and Ustenova, G.O. (2018), “Review of the current status of study *Oxytropis*”, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 11, iss. 4, pp. 50–55. doi: 10.22159/ajpcr.2018.v11i4.23656.
8. Konopleva, E.V. (1989), “Comparative characteristics of analgesic and antihypoxic effects of infusions of some species of *Oxytropis* DC.”, *Rastitel'nye Resursy*, vol. 25, iss. 2, pp. 254–258. (in Russian).
9. Arkad'eva, G.E., Blinova, K.F. and Komarova, M.N. (1966), “On the antibiotic evaluation of medicinal plants of Tibetan medicine”, *Rastitel'nye Resursy*, vol. 2, pp. 218–223. (in Russian).
10. Buyankhishig, B., Murata, T., Suganuma, K., Batkhuu, J. and Sasaki, K. (2020), “Hyaluronidase inhibitory saponins and a trypanocidal isoflavonoid from the aerial parts of *Oxytropis lanata*”, *Fitoterapia*, vol. 145, article 104608, pp. 1–8, doi:10.1016/j.fitote.2020.104608.
11. Murata, T. and Batkhuu, J. (2021), “Biological activity evaluations of chemical constituents derived from Mongolian medicinal forage plants and their applications in combating infectious diseases and addressing health problems in humans and livestock”, *Journal of Natural Medicines*, May, pp. 1–12, available at: <https://doi.org/10.1007/s11418-021-01529-7>.
12. Wurchaih, H. and Menggenqiqig, K. (2019), “Medicinal wild plants used by the Mongol herdsmen in Bairin Area of Inner Mongolia and its comparative study between TMM and TCM”, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 15, no. 32, pp. 1–18, available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0300-9> (Accessed 8 June 2022).

13. Purevsuren, S., Tsetsegmaa, S., Narantuyaa, S., Myagmar, L., Mengentsetseg, L. and Fedoseeva, G.M. (2002), "On the issue of phytochemical and pharmacological study of the yarrow-leaved (*Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.)", *Siberian Medical Journal*, Irkutsk, vol. 31, no. 2, pp. 53–55. (in Russian).
14. Kabishev, K.E. and Sakanyan, E.I. (2002), "Quantitative determination of the amounts of flavonoid compounds in intranasal dosage forms of the drug "Oxofil" with a polyextract from the aerial part of *Oxytropis oxyphylla* (Pall.) DC.", *Rastitel'nye Resursy*, vol. 38, no. 4, pp. 120–127. (in Russian).
15. Sobolevskaya, K.A. (ed.) (1989), *Polezhye rasteniya Khakassii. Resursy i introduksiya* [Useful plants of Khakassia. Resources and introduction], Novosibirsk, Nauka, Siberian branch, pp. 84–86. (in Russian).
16. Shepherd, L.D., Lange, P.J., Perrie, L.R. and Heenan, P.B. (2017), "Chloroplast phylogeography of New Zealand *Sophora* trees (Fabaceae): extensive hybridization and widespread Last Glacial Maximum survival", *Journal of Biogeography*, vol. 44, pp. 1640–1651, available at: <https://doi.org/10.1111/jbi.12963>.
17. Blanco-Pastor, J.L., Fernández-Mazuecos, M., Coello, A.J., Pastor, J. and Vargas, P. (2019), "Topography explains the distribution of genetic diversity in one of the most fragile European hotspots", *Diversity and Distributions*, vol. 25, pp. 74–89. doi: 10.1111/ddi.12836.
18. Wang, H., Liu, P.-L., Li, J., Yang, H., Li, Q. and Chang, Zh.-Y. (2021), "Why more leaflets? The role of natural selection in shaping the spatial pattern of leaf-shape variation in *Oxytropis diversifolia* (Fabaceae) and two close relatives", *Frontiers in Plant Science*, vol. 12, article 681962, available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.681962>.
19. Kholina, A.B., Kozyrenko, M.M., Artyukova, E.V. and Sandanov, D.V. (2018), "Modern state of populations of endemic *Oxytropis* species from Baikal Siberia and their phylogenetic relationships based on chloroplast DNA markers", *Russian Journal of Genetics*, vol. 54, pp. 805–815. doi: 10.1134/S1022795418070050. (in Russian).
20. Kholina, A.B., Kozyrenko, M.M., Artyukova, E.V. and Sandanov, D.V. (2019), "The divergence of *Oxytropis* species of section *Verticillares* (Fabaceae) of the steppe flora of Baikal Siberia based on chloroplast DNA sequence data", *Russian Journal of Genetics*, vol. 55, pp. 701–710. doi: 10.1134/S102279541906005X. (in Russian).
21. Avise, J.C. (2000), *Phylogeography: The history and formation of species*, Cambridge, MA: Harvard University Press, p. 441.

#### Сведения об авторах

**Холина Алла Борисовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» Дальневосточного отделения РАН, Researcher ID: M-2010-2016.

**Позднякова Татьяна Эрастовна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики, разведения и биотехнологии животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

**Санданов Денис Викторович** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории флористики и геоботаники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки «Институт общей и экспериментальной биологии» Сибирского отделения РАН, spin-код: 0000-3234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

#### Information about the authors

**Alla B. Kholina** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Biotechnology, Federal State Budgetary Educational Institution of Science "Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity", Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Researcher ID: M-2010-2016.

**Tatyana E. Pozdnyakova** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Genetics, Breeding and Biotechnology of Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 3146-6570

**Denis V. Sandanov** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Floristry and Geobotany of Federal State Budgetary Educational Institution of Science "Institute of General and Experimental Biology", Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, spin-code: 0000-3234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

**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 08.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.09.2022 г.; принята к публикации 17.09.2022 г.*

*The article was submitted 08.08.2022; approved after reviewing 10.09.2022; accepted after publication 17.09.2022.*

Научная статья

УДК 635.757

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-31-41

## АГРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ФЕНХЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Наталья Юрьевна Степанова**

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; [natelaspb@yandex.ru](mailto:natelaspb@yandex.ru);  
<http://orcid.org/0000-0002-2433-7121>

**Реферат.** Фенхель – пряноароматическое растение семейства зонтичные, является широко распространенной культурой в южных регионах, широко культивируется в качестве эфиромасличного и лекарственного растения в Краснодарском крае, Белоруссии, на Северном Кавказе из-за его сильно ароматизированных листьев и плодов. Его анисовый, или лакричный, вкус происходит от анетола, ароматического соединения. Растение обладает выраженными антиоксидантными свойствами, обусловленными наличием растительных полифенолов и гликозидов. В 2012–2020 гг. была проведена агробиологическая оценка 13 образцов фенхеля из коллекции ВИР имени Н.И. Вавилова: № 21 – из Афганистана, № 22 – sel 71 из Индии, № 26 – из Эфиопии, № 33 – Местный из Киргизии, № 39 – из Кении, № 45 – Московский из Азербайджана, № 49 – Fennel Florenee из США, № Вр. 17 – De Florenee из Франции, № Вр. 151 – из Испании, № Вр. 208 – из Азербайджана, № Вр. 220 – Черновицкий из России, № Вр. 254 – из Франции, № Вр. 259 – Раннеспелый из Краснодарского края при выращивании на зелень в условиях Ленинградской области. В качестве контроля был выбран образец № Вр. 259. Изучали особенности роста и формирования урожая, а также определяли химический состав свежей и замороженной зелени фенхеля, изучали разные схемы размещения. По биометрическим показателям выделились образцы фенхеля № 21, № 45, № 49, Вр. 151. Наибольшую урожайность зелени фенхеля – на 25–72% выше контрольного варианта сформировали образцы № 21 (на 45–50%), образцы № 26, № 49, № 45 и Вр. 151 (на 25–36%). Использование 3-рядной схемы размещения растений позволило повысить урожайность на 26–38% на образцах № 33, № 49 и Вр. 17. При анализе химических показателей выделены следующие образцы фенхеля: № 22, № 49, Вр. 17 и Вр. 151.



**Ключевые слова:** фенхель, образцы, скороспелость, урожайность, химический состав

**Цитирование.** Степанова Н.Ю. Агробιοιογическая оценка образцов фенхеля в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(68). – С. 31–41 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-31-41.

## AGROBIOLOGICAL EVALUATION OF FENNEL SAMPLES IN THE CONDITIONS OF THE LENINGRAD REGION

**Natalia Yurievna Stepanova**

Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; natelaspb@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2433-7121>

**Abstract.** Fennel is a spicy aromatic plant of the umbrella family, is a widespread crop in the southern regions, widely cultivated as an ethyromasolic and medicinal plant in the Krasnodar Territory, Belarus, in the North Caucasus due to its highly flavored leaves and fruits. Its anise, or licorice, taste comes from anethol, an aromatic compound. The plant has antioxidant pronounced properties due to the presence of plant polyphenols and glycosides. In 2012-2020, 13 fennel samples from the Vavilov VIR collection were agrobiologically evaluated: No. 21 – from Afghanistan, No. 22 – sel 71 from India, No. 26 – from Ethiopia, No. 33 – Local from Kyrgyzstan, No. 39 – from Kenya, No. 45 – Moscow from Azerbaijan, No. 49 – Fennel Florenee from the USA, No. T. 17 – De Florenee of France, No. T. 151 – from Spain, No. T. 208 – from Azerbaijan, No. T. 220 – Chernivtsi from Russia, No. T. 254 – from France, No. T. 259 – Early ripe from the Krasnodar Territory when growing for greens in the conditions of the Leningrad Region. We studied the growth features and crop formation, as well as determined the chemical composition of fresh and frozen fennel greens, studied different placement schemes. According to biometric indicators, samples of fennel No. 21, No. 45, No. 49, T. 151 were distinguished. The highest yield of fennel greens, 25-72% higher than the control variant, was formed by samples No. 21 (by 45-50%), samples No. 26, No. 49, No. 45, and T. 151 (by 25-36%). The use of a 3-row plant layout made it possible to increase the yield by 26-38% on samples No. 33, No. 49 and T. 17. The following fennel samples were identified in the analysis of chemical parameters: No. 22, No. 49, T. 17 and T. 151.

**Keywords:** fennel, samples, early maturity, yield, chemical composition

**Citation.** Stepanova, N.Yu. (2022), “Agrobiological evaluation of fennel samples in the conditions of the Leningrad region”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, voi. 68, no. 3, pp. 31–41, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-31-41.

**Введение.** В последнее время существенно возрос спрос на натуральные душистые вещества, пищевые и ароматические добавки. Для производства душистых веществ, задействованных в парфюмерии, косметике, медицине и пищевой промышленности, используется в среднем 300 видов растений, в том числе и фенхель [1].

В последние годы в связи с государственной политикой РФ, направленной на импортозамещение продуктов, одной из первоочередных задач отрасли сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности стало получение ароматических веществ из собственного сырья. В связи с этим возникла необходимость в производстве эфиромасличных культур. Выращиванием и переработкой эфиромасличных растений в РФ в настоящее время занимается очень небольшое количество предприятий, даже в традиционных районах возделывания этих культур. Одной из таких культур является фенхель обыкновенный.

Фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.) – это многолетнее, в культуре двулетнее травянистое растение из семейства Сельдереиных (Ariaceae) высотой до 2 м [2].

Фенхель содержит полисахариды, аминокислоты, флавоноиды, дубильные вещества и до 6% эфирного масла, основными компонентами которого являются анетол (60–80%), фенхол (2–22%), метилхавикол (3–15%) [3].

Фенхель используется как эфиромасличное, лекарственное, пряно-вкусовое, овощное сырье. Полезные свойства присущи всем органам растения. В пищевой промышленности эфирное масло фенхеля используют для ароматизации колбасных изделий, ликёров, чая, сыра, мяса, конфет, для приготовления солений, приправ [4]. В медицине фенхель применяется при заболеваниях пищеварительного тракта, гриппе, болях в желудке [1].

Исторически сложилось, что фенхель культивируют в регионах с мягким, теплым климатом с достаточным количеством осадков [5; 6]. В настоящее время фенхель выращивают в северных и южных районах Европы, в странах Азии (Индия, Китай, Япония), Северной и Южной Америки, на Украине, в Молдавии и на юге России [7].

Мы считаем, что выращивание фенхеля на зеленую массу возможно и в условиях Северо-Запада РФ. Выращивание фенхеля в прохладных влажных условиях Ленинградской области невозможно без анализа влияния климатических условий зоны на рост и развитие растений.

Степень влияния гидротермических условий на урожайность и качество сельскохозяйственных культур варьирует от 30 до 60%.

Комплекс агротехнических мероприятий, который обеспечивает повышение урожайности зелёной массы, формирование площади листовой поверхности, улучшение качества зелени, зависит от метеорологических условий [8; 9].

Для сельхозпроизводителей очень важно создание новых сортов эфиромасличных культур, обладающих высокой урожайностью и высоким содержанием эфирного масла [10; 11]. Для каждого конкретного региона необходим подбор адаптивных сортов, устойчивых к вредителям и болезням. Все вышесказанное подтверждает актуальность темы исследований.

**Цель исследования** – сравнительный анализ коллекционных образцов фенхеля обыкновенного по основным морфо-биологическим и хозяйственно ценным признакам и изучение элементов его технологии производства.

В задачи исследования входило:

- 1) провести фенологические наблюдения за ростом и развитием фенхеля обыкновенного;
- 2) изучить биометрические наблюдения фенхеля обыкновенного;
- 3) оценить продуктивность фенхеля обыкновенного на зеленую массу;
- 4) определить химический состав свежей зелени фенхеля;
- 5) изучить технологические элементы возделывания фенхеля обыкновенного;
- 6) определить качество замороженной зелени фенхеля.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Изучение образцов фенхеля обыкновенного из коллекции ВИР имени Вавилова проводили в Пушкинском районе Санкт-Петербурга на опытном поле, на кафедре технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции и в биохимической лаборатории в течение 2012–2020 гг.

Климат Ленинградской области атлантико-континентальный. Зима сравнительно-мягкая, лето умеренно-теплое, иногда прохладное. Теплый период времени – 170 дней в году. Средняя температура июля + 17<sup>0</sup>С, января –11<sup>0</sup>С. Максимальная температура воздуха достигает 38<sup>0</sup>С. Минимальная температура зимой 35<sup>0</sup>С. Сумма активных температур более 10<sup>0</sup>С – 1600–1800<sup>0</sup>С. Среднегодовая сумма осадков – 600–700 мм.

Наши исследования включали 3 опыта: изучение образцов фенхеля, изучение схемы размещения растений на грядках, изучение пищевой ценности свежей и замороженной зелени фенхеля.

1. *Изучение образцов фенхеля.* Изучали 13 образцов фенхеля из коллекции ВИР имени Вавилова: № 21 – из Афганистана, № 22 – sel 71 из Индии, № 26 – из Эфиопии, № 33 – Местный из Киргизии, № 39 – из Кении, № 45 – Московский из Азербайджана, № 49 – Fennel Florenee из США, № Вр. 17 – De Florenee из Франции, № Вр. 151 – из Испании, № Вр. 208 – из

Азербайджана, № Вр.220 – Черновицкий из России, № Вр. 254 – из Франции, № Вр. 259 – Раннеспелый из Краснодарского края. В качестве контрольного образца выбран № Вр. 259.

Образцы размещены на делянках площадью 2,0 м<sup>2</sup> в 2 ряда с междурядьями 0,5 м. Расстояние между растениями в ряду 20 см. Все образцы в коллекции заложены в трех повторностях. Общая площадь под опытом – 78 м<sup>2</sup>.

2. *Изучение схемы размещения растений на грядах.* Опыт включал 2 варианта:

- 1) размещение в 2 ряда с междурядьями 0,5 м. Расстояние между растениями в ряду 20 см. [12];
- 2) размещение в 3 ряда с междурядьями 25 см. Расстояние между растениями в ряду 20 см.

Исследования по размещению проводили на 5 образцах фенхеля: № 33 – Местный из Киргизии, № 39 – из Кении, № 49 – Fennel Florenee из США, № Вр. 17 – De Florenee из Франции, № Вр. 151 – из Испании.

Все образцы размещены на делянках площадью 2,0 м<sup>2</sup>, в трех повторностях. Общая площадь под опытом – 30 м<sup>2</sup>.

Агротехника выращивания фенхеля обыкновенного в опыте была общепринятой за исключением схемы размещения.

3. *Изучение пищевой ценности зелени фенхеля в свежем и замороженном состоянии.* Опыт проводили на всех 13 образцах фенхеля.

В ходе исследований проводили фенологические, биометрические наблюдения, определяли продуктивность растений и химический состав свежей, сушеной и замороженной зелени, оценивали показатели продуктивности (урожайность зеленой массы).

Фенологические наблюдения проводились визуально на закрепленных по диагонали каждого участка отрезках. Фиксировали полную фазу, когда в нее вступило 75% растений. Урожайность зеленой массы определяли непосредственно в полевых условиях путем взвешивания срезанных на высоте 10–15 см от поверхности почвы растений. Химический состав устанавливали по общепринятым методикам. Определение химического состава зелени проводили по следующим показателям: хлорофилл (спектрофотометрический метод), каротиноиды (спектрофотометрический метод), аскорбиновая кислота (по Мурри), сумма сахаров (по Бертрану), сухое вещество (высушиванием до постоянной массы при 105°C).

#### **Результаты исследований**

*Опыт 1.* Посев фенхеля на рассаду осуществляли в период с 5 по 10 апреля в зависимости от погодных условий. Высаживали готовую рассаду в открытый грунт в возрасте 30–33 дней в период 15–23 мая в зависимости от года исследований.

Общие всходы появились через 10–15 дней в зависимости от образца (табл. 1). Быстрее всего взошли образцы № 21, 22, 26, 39 – на 10–12-й день. Фаза 2-го настоящего листа была отмечена через 23–30 дней после всходов, раньше всего наблюдали у образцов № 21, 22, 49. Хорошую компактную розетку листьев фенхель сформировал на 40–50-й день от всходов. Более скороспелыми оказались образцы под № 21, 22, 49, Вр. 151 – через 41–43 дня. Фаза полного цветения фенхеля наступила на 70–80-й день от всходов в зависимости от образца, раньше других у образцов № 21, 22, 49.

Таблица 1. Даты наступления фаз развития фенхеля обыкновенного в годы исследований (средние за все годы)  
Table 1. Dates of onset of phases of development of fennel in the years of research (average for all years)

Номер образца	Дата наступления фазы (в днях после всходов)					
	Всходы	2-й настоящий лист	Розетка листьев	Стеблевание	Цветение	Плодообразование
21	<b>10–12</b>	<b>23–25</b>	<b>41–43</b>	<b>69–71</b>	<b>86–88</b>	<b>103–105</b>
22	<b>11–13</b>	<b>24–26</b>	<b>42–44</b>	<b>71–73</b>	<b>90–92</b>	<b>104–106</b>
26	11–14	25–27	45–47	74–76	94–96	109–111
33	12–14	25–27	44–46	72–74	94–96	108–110
39	11–14	25–26	44–46	72–74	95–97	112–114
45	14–15	28–29	47–49	78–80	95–97	113–115
49	<b>12–13</b>	<b>24–25</b>	<b>43–45</b>	<b>72–74</b>	<b>91–93</b>	<b>105–107</b>
Вр.17	15–16	29–30	48–50	77–79	96–98	116–117
Вр. 151	12–14	25–26	43–45	72–74	92–94	106–108
Вр. 208	13–15	26–28	45–47	73–75	96–98	116–117
Вр. 220	13–16	27–29	47–49	73–75	92–94	106–108
Вр. 254	12–14	25–27	44–46	72–74	93–95	108–110
Вр. 259–контроль	13–15	26–28	46–48	73–75	94–96	109–111

В период от фазы стеблевания до фазы плодообразования можно активно собирать листья, соцветия, молодые побеги на зеленую массу.

Сроки наступления фаз развития фенхеля обыкновенного в годы исследований зависели не только от конкретного образца, но и от особенностей погодных условий (температурного режима, количества осадков и их распределения в течение вегетации культуры).

Как показывают данные табл. 2, по высоте изучаемых образцов есть существенные различия: от 13 см у образца № 151 до 21 см у образца № 21 в начале роста и от 67 см у образца Вр. 208 до 103 см у образца № 21 в период уборки.

Таблица 2. Изменение высоты растений (средние данные за все года)  
Table 2. Change in plant height (average data for all years)

Номер образца	Высота растений, см			Количество побегов 1-го порядка, шт.
	на 35-й день после всходов	на 90-й день после всходов	во время уборки	
21	<b>21</b>	<b>44</b>	<b>103</b>	<b>8–9</b>
22	16	41	85	<b>9</b>
26	19	31	84	7
33	17	26	85	<b>7–8</b>
39	15	24	75	6–7
45	16	<b>36</b>	<b>93</b>	7
49	18	<b>36</b>	<b>90</b>	<b>6–7</b>
Вр.17	14	<b>40</b>	<b>94</b>	6
Вр. 151	13	<b>39</b>	<b>90</b>	6–7
Вр. 208	14	32	67	7
Вр. 220	17	<b>38</b>	<b>92</b>	<b>8</b>
Вр. 254	15	36	79	<b>7–8</b>
Вр. 259–контроль	14	33	71	5–6

По признаку высоты растений все изучаемые образцы также условно разделены на три группы: высоко-, средне- и низкорослые. Наибольшее количество образцов являются высокорослыми (90–103 см) – 6 из 13, среднерослыми (75–85 см) – 5 и низкорослыми – 2.

Одним из важных косвенных показателей продуктивности растений является количество побегов 1 порядка (табл. 2). Диапазон изменчивости данного показателя невелик – от 5–6 штук у образца Вр. 259 до 9 у образцов № 21 и 22, поэтому все образцы разделили по данному параметру на две группы – с малым (5–6,5 шт.) и большим (7–9 шт.) количеством побегов. Большое количество побегов 1-го порядка отмечено у образцов фенхеля № 21, 22, Вр. 220, 33, Вр. 254, 26, 45, Вр. 208.

Во время полного цветения растений проведен учет урожайности зеленой массы и определен химический состав образцов (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зеленой массы фенхеля  
Table 3. Yield of green mass of fennel

Номер образца	Урожайность кг/м <sup>2</sup>						
	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год	средняя по годам	% к контролю
21	<b>2,50</b>	<b>5,70</b>	<b>1,60</b>	<b>3,10</b>	<b>3,45</b>	<b>3,27</b>	<b>172</b>
22	1,80	2,30	1,05	1,55	1,95	1,72	90
26	1,90	<b>4,50</b>	1,35	<b>2,25</b>	<b>2,90</b>	<b>2,58</b>	<b>136</b>
33	1,70	3,00	1,25	1,60	2,35	1,98	104
39	1,03	2,80	1,20	1,30	2,05	1,68	88
45	<b>2,50</b>	<b>3,70</b>	<b>1,45</b>	<b>2,30</b>	<b>2,80</b>	<b>2,55</b>	<b>134</b>
49	<b>2,12</b>	<b>4,50</b>	<b>1,50</b>	<b>2,15</b>	<b>2,60</b>	<b>2,57</b>	<b>135</b>
Вр.17	<b>2,70</b>	2,25	<b>1,50</b>	1,85	2,45	2,15	113
Вр. 151	1,95	<b>3,80</b>	<b>1,40</b>	<b>2,00</b>	<b>2,85</b>	<b>2,38</b>	<b>125</b>
Вр. 208	1,70	2,80	1,25	1,40	2,40	1,92	101
Вр. 220	1,90	3,20	1,30	1,70	2,55	2,13	112
Вр. 254	1,30	2,30	1,25	1,20	2,05	1,62	85
Вр. 259 – контроль	1,36	3,10	1,25	1,55	2,25	1,90	100

Примечание: Точность опыта 2,3% НСР<sub>05</sub>: 1-й год – 0,32 кг/м<sup>2</sup>; 2-й год – 0,59 кг/м<sup>2</sup>; 3-й год – 0,21 кг/м<sup>2</sup>; 4-й год – 0,52 кг/м<sup>2</sup>; 5-й год – 0,49 кг/м<sup>2</sup>

По урожайности зеленой массы в среднем за пять лет все образцы были условно разделены на три группы: первая – с низкой урожайностью, до 2 кг/м<sup>2</sup> – 6 образцов, или 46% от общего количества; вторая – со средней урожайностью, от 2 до 3 кг/м<sup>2</sup> – 6 образцов (46%); третья – с высокой урожайностью свыше 3 кг/м<sup>2</sup> – один образец (8%).

Анализируя данные по урожайности зеленой массы фенхеля, следует выделить 4 образца, которые на протяжении пяти лет показывали наибольшую урожайность: № 26, № 45, № 49 и Вр. 151 – в среднем на 25–36% выше по сравнению с контрольным вариантом, особенно образец № 21, обладающий максимальной урожайностью в среднем по годам 3,27 кг/м<sup>2</sup>, что на 72% выше, чем в контрольном варианте.

*Опыт 2.* Сужение междурядья с 50 до 25 см при использовании трехрядной посадки привело к удлинению фазы: стеблевания фенхеля обыкновенного – на один день, цветения – на 2 дня и плодоношения – на 3 дня. Таким образом, вегетационный период продлился на 3 дня.

Высота растений немного увеличилась при трехрядной схеме посадки на 4–6 см в зависимости от образца (табл. 4).

Таблица 4. Изменение высоты растений (средние данные за все годы)  
Table 4. Change in plant height (average data for all years)

Номер образца	Высота растений, см			Количество побегов 1-го порядка, штук
	на 35-й день после всходов	на 90-й день после всходов	во время уборки	
Размещение в 2 ряда				
33	17	26	85	7-8
39	15	24	75	6-7
49	18	36	90	6-7
Вр.17	14	40	94	6
Вр. 151	13	39	90	6-7
Размещение в 3 ряда				
33	17	<b>27</b>	<b>89</b>	7
39	15	<b>25</b>	<b>80</b>	6
49	18	<b>38</b>	<b>96</b>	6-7
Вр.17	14	<b>43</b>	<b>100</b>	6
Вр. 151	13	<b>41</b>	<b>97</b>	6-7

Как показывают данные табл. 6, размещение растений фенхеля в 3 ряда практически не повлияло на количество побегов 1-го порядка.

Проведенные нами исследования по урожайности зелени фенхеля показали, что размещение растений в 3 ряда позволяет увеличить урожайность общей массы с одного квадратного метра, средняя масса одного растения при этом уменьшается (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность зеленой массы фенхеля  
Table 5. Yield of green mass of fennel

Номер образца	Урожайность кг/м <sup>2</sup>					
	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год	средняя по годам
Размещение в 2 ряда						
33	1,70	3,00	1,25	1,60	2,35	1,98
39	1,03	2,80	1,20	1,30	2,05	1,68
49	2,12	4,50	1,50	2,15	2,60	2,57
Вр.17	2,70	2,25	1,50	1,85	2,45	2,15
Вр. 151	1,95	3,80	1,40	2,00	2,85	2,38
Размещение в 3 ряда						
33	<b>2,25</b>	<b>4,10</b>	<b>1,58</b>	<b>1,85</b>	<b>3,12</b>	<b>2,58</b>
39	1,24	3,13	1,42	1,57	2,41	1,95
49	<b>2,51</b>	<b>5,88</b>	<b>1,84</b>	<b>2,62</b>	<b>3,36</b>	<b>3,24</b>
Вр.17	<b>3,60</b>	<b>3,19</b>	<b>2,26</b>	<b>2,47</b>	<b>3,34</b>	<b>2,97</b>
Вр. 151	1,99	4,21	1,58	2,25	3,15	2,63

Примечание: Точность опыта 2,1%. НСР<sub>05</sub>: 1-й год – 0,28 кг/м<sup>2</sup>; 2-й год – 0,53 кг/м<sup>2</sup>; 3-й год – 0,23 кг/м<sup>2</sup>; 4-й год – 0,50 кг/м<sup>2</sup>; 5-й год – 0,53 кг/м<sup>2</sup>

Однозначно утверждать о значительном увеличении урожайности при 3-рядном размещении можно на образцах фенхеля № 33, № 49, Вр 17. Как показывают полученные данные, урожайность увеличилась в среднем на 26–38%.

*Опыт 3.* Исследование химического состава свежей зелени фенхеля проводили по показателям: сухое вещество, сумма сахаров, аскорбиновая кислота, каротиноиды, хлорофилл (табл. 6).

Наибольшее количество сухих веществ отмечено у образцов фенхеля № 21, № 26, № 49. Максимальное количество сахаров обнаружено в образцах № 22, № 26, № 33, № 39, Вр. 151 и Вр. 208 – 2,5–3,3%. Зелень фенхеля богата аскорбиновой кислотой, наибольшее содержание которой выявлено в образцах № 45, Вр. 17 и Вр. 151 – 11,6–12,9 мг/100 г. По количеству каротиноидов зелень фенхеля не уступает моркови. Больше всего каротиноидов отмечено у образцов № 22 и Вр. 151 – 21,6–22,6 мг/100 г. Наивысшее содержание хлорофилла обнаружено в образцах № 45 и № 49 – 153–168 мг/100г.

Анализируя химический состав свежей зелени по комплексу показателей, следует выделить образцы № 22, № 45, № 49 и Вр 151.

Таблица 6. Химический состав свежей зелени фенхеля (средние данные за все годы)  
Table 6. Chemical composition of fresh fennel greens (average data for all years)

Номер образца	Сухое вещество, %	Сумма сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	Хлорофилл, мг/100 г
21	<b>18,8</b>	1,6	8,0	18,3	135
22	16,2	<b>2,5</b>	8,8	<b>21,6</b>	133
26	<b>18,2</b>	<b>2,4</b>	6,6	18,4	145
33	17,4	<b>2,6</b>	7,8	15,6	117
39	17,9	<b>2,9</b>	6,2	17,1	116
45	16,0	1,7	<b>12,8</b>	19,0	<b>153</b>
49	<b>18,5</b>	<b>2,8</b>	9,1	17,3	<b>168</b>
Вр.17	17,8	1,7	<b>11,6</b>	19,0	146
Вр. 151	12,6	<b>2,5</b>	<b>12,9</b>	<b>22,6</b>	147
Вр. 208	17,6	<b>3,3</b>	8,3	15,7	112
Вр. 220	17,7	1,6	9,6	17,1	115
Вр. 254	15,6	1,5	5,4	17,3	106
Вр. 259– контроль	15,9	1,9	7,2	16,2	101

Как видно из табл. 7, замороженная зелень фенхеля позволяет сохранить высокую пищевую ценность. Потери сухих веществ при замораживании всего 3–5%, сахаров 15–30%, каротиноидов 7–27%, хлорофилла 9–18%, аскорбиновой кислоты 25–55% в зависимости от образца.

Таблица 7. Химический состав замороженной зелени фенхеля (средние данные за все годы)  
Table 7. Chemical composition of frozen fennel greens (average data for all years)

Номер образца	Сухое вещество, %	Сумма сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	Хлорофилл, мг/100 г
21	<b>18,2</b>	1,2	3,7	16,3	121
22	15,3	1,8	4,1	<b>18,2</b>	120
26	<b>17,5</b>	2,1	3,7	13,1	125
33	17,0	2,0	5,2	13,8	106
39	17,0	<b>2,2</b>	3,1	15,2	100
45	15,0	1,3	<b>7,7</b>	16,1	<b>131</b>
49	<b>17,6</b>	<b>2,4</b>	5,3	16,0	<b>138</b>
Вр.17	17,2	1,4	<b>7,5</b>	<b>17,0</b>	<b>129</b>
Вр. 151	12,0	2,0	<b>8,6</b>	<b>20,3</b>	<b>128</b>
Вр. 208	17,0	<b>2,8</b>	6,3	11,4	95
Вр. 220	17,0	1,4	5,5	14,8	98
Вр. 254	14,9	1,1	3,8	14,6	88
Вр. 259 – контроль	15,1	1,4	5,2	14,1	84

Меньше всего потерь сухих веществ было на образцах № 21, № 33, Вр. 17 и Вр. 208, сахаров – у образцов № 26, № 49, Вр. 208 и Вр. 220. Лучше всего аскорбиновую кислоту сохранила зелень фенхеля в образцах под № 33, Вр. 17, Вр. 151, Вр. 208. Максимальный процент каротиноидов остался в зелени образцов № 21, № 33, № 49, Вр. 17 и Вр. 151. Меньше всего потерь хлорофилла в образцах № 21, № 22, Вр. 151.

По комплексу химических показателей замороженной зелени фенхеля следует выделить образцы Вр. 17 и Вр. 151, а меньше всего потерь при замораживании было у образцов под № 22, № 49, Вр. 17 и Вр. 151.

**Выводы.** Результаты исследований свидетельствуют о значительном адаптивном потенциале и экологической пластичности растений фенхеля обыкновенного при выращивании в условиях холодного температурного режима Ленинградской области.

Исходя из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Более раннеспелыми являются образцы фенхеля № 21, № 22, № 49.
2. По биометрическим показателям выделены образцы № 21, № 45, № 49, Вр. 151, Вр. 220.
3. Самыми урожайными оказались образцы фенхеля № 21, № 26, № 49, № 45, Вр. 151.
4. По комплексу химических показателей свежей и замороженной зелени фенхеля выделены образцы под № 22, № 49, Вр. 17 и Вр. 151.
5. Применение 3-рядной схемы размещения растений позволяет повысить урожайность на 26–38% на образцах № 33, № 49 и Вр. 17.

#### Список источников литературы

1. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) / Wen-RuiDiao, Qing-PingHu, HongZhang, Jian-GuoXu. // *Food Control*. – 2014. – January. – Vol. 35. – P. 109–116.
2. Прокофьев А.А., Степанова Н.Ю. Пищевая ценность свежей и замороженной зелени фенхеля // *Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сб. науч. тр.* – СПб., 2014. – С. 423–426.
3. Прокофьев А.А., Степанова Н.Ю. Изменение химического состава фенхеля при хранении в замороженном состоянии // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств.* – 2014. – № 4. – С. 182–188.
4. Степанова Н.Ю., Прокофьев А.А. Изучение фенхеля в условиях Ленинградской области // *Известия СПбГАУ.* – 2014. – № 35. – С. 16–21.
5. Макуха О.В. Влияние агротехнических приемов на рост и развитие фенхеля обыкновенного в зоне южной степи Украины // *Вестник Прикаспия.* – 2014. – № 1 (4). – С. 11–15.
6. Makukha O.V. Growth and development of fennel plants // *Агроэкономика: экономика и сельское хозяйство.* – 2018. – № 5 (29). – С. 3.
7. Особенности роста и развития фенхеля обыкновенного в условиях республики Ингушетия / Леймоева А.Ю., Базгиев М.А., Бадургова К.Ш., Долгиев М.Р. // *Проблемы развития АПК региона.* – 2019. – № 4 (40). – С. 81–85.
8. Горбунова Е.Н., Горбунов Р.В. Разработка основных элементов технологии производства высококачественного сырья фенхеля // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды.* – 2017. – № 10 (173). – С. 16–23.
9. Горбунова Е.В., Горбунов Р.В. Влияние агротехнологических приемов на рост и развитие фенхеля обыкновенного в условиях предгорной зоны Крыма // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды.* – 2019. – № 20 (183). – С. 51–57.
10. Оценка коллекционных образцов фенхеля обыкновенного по показателям продуктивности / Золотилова О.М., Золотилова В.А., Скипор О.Б., Новиков И.А. // *Таврический вестник аграрной науки.* – 2019. – № 1 (17). – С. 51–61.
11. Patricia Gaillard-Seux. L'automédication animale: le serpent et le fenouil, l'hirondelle et la chélidoine. U mythe à l'indication médicale // *History, medicine and sante.* – 2015. – № 8. – P. 47–68. – URL: <http://journals.openedition.org/hms>.



12. Влияние сроков высадки рассады и ширины междурядий на формирование семенной продуктивности фенхеля обыкновенного / Князюк О.В., Мельник И.А., Горбатюк В.С., Литвин К.О. // *Агробиология*. – 2019. – № 1 (146). – С. 65–73.

### References

1. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Wen-RuiDiao, Qing-PingHu, HongZhang, Jian-GuoXu, *Food Control*, 2014, January, vol. 35, pp. 109–116.
2. Prokofiev, A.A. and Stepanova, N.Yu. (2014), Pishchevaya cennost' svezhej i zamorozhennoj zeleni fenhelya [Nutritional value of fresh and frozen fennel greens], *Scientific support for the development of agriculture in the conditions of reform, Collection of scientific tr*, pp. 423–426. (in Russian).
3. Prokofiev, A.A., Stepanova, N.Yu. (2014), Izmenenie himicheskogo sostava fenhelya pri hranenii v zamorozhennom sostoyanii [Change in the chemical composition of fennel during storage in a frozen state], *Scientific journal of NIU ITMO. Series: Processes and devices of food production*, no. 4, pp. 182–188. (in Russian)
4. Stepanova, N.Yu. and Prokofiev, A.A. (2014), “The study of fennel in the conditions of the Leningrad region”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 35, pp. 16–21. (in Russian).
5. Makukha, O.V. (2014), Vliyanie agrotekhnicheskikh priemov na rost i razvitie fenhelya obyknovennogo v zone yuzhnoj stepi Ukrainy [Influence of agrotechnical techniques on the growth and development of fennel in the southern steppe zone of Ukraine], *Bulletin of the Caspian Sea*, no 1 (4), pp. 11–15. (in Russian).
6. Makukha O.V., (2018), “Growth and development of fennel plants”, *Agroeconomics: economics and agriculture*, no 5 (29), pp. 3. (in Russian).
7. Leimoeva, A.Yu., Bazgiev, M.A., Badurgova, K.Sh. and Dolgiev, M.R. (2019), “Features of the growth and development of common fennel in the conditions of the Republic of Ingushetia”, *Problems of the development of the agro-industrial complex of the region*, no 4 (40), pp. 81–85. (in Russian).
8. Gorbunova, E.N. and Gorbunov, R.V. (2017), Razrabotka osnovnykh elementov tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennogo syr'ya fenhelya [Development of the main elements of the technology of production of high-quality raw materials of fennel], *News of agricultural science of Taurida*, no 10 (173), pp. 16–23. (in Russian).
9. Gorbunova, E.V. and Gorbunov, R.V. (2019), Vliyanie agrotekhnologicheskikh priemov na rost i razvitie fenhelya obyknovennogo v usloviyah predgornoj zony Kryma [Influence of agrotechnological techniques on the growth and development of fennel in the conditions of the foothill zone of the Crimea], *News of agricultural science of Taurida*, no 20 (183), pp. 51–57. (in Russian).
10. Zolotylova, O.M., Zolotylov, V.A., Skipor, O.B. and Novikov, I.A. (2019), Ocenka kollekcionnykh obrazcov fenhelya obyknovennogo po pokazatelyam produktivnosti [Evaluation of collection samples of common fennel by productivity indicators], *Tauride Bulletin of Agrarian Science*, no 1 (17), pp. 51–61. (in Russian).
11. Gaillard-Seux, P. (2015), “Animal self-medication: snake and fennel, swallow and celandine. From myth to medical indication”, *History, medicine and sante*, no 8, pp. 47–68, <http://journals.openedition.org/hms>.
12. Knyazyuk, O.V., Melnik, I.A., Gorbatyuk, V.S. and Litvin, K.O. (2019), “Seedlings Planting terms and row spacings influence on fennel seed yield formation”, *Agrobiologiya, Ukraine*, no 1 (146), pp. 65–73.

**Сведения об авторах**

**Степанова Наталья Юрьевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 5703-5671

**Information about the authors**

**Natalia Yu. Stepanova** – Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, associate professor of Agricultural Products Storage and Processing department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 6612-5534

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

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

*Статья поступила в редакцию 01.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.09.2022 г.; принята к публикации 17.09.2022 г.*

*The article was submitted 01.08.2022; approved after reviewing 10.09.2022; accepted after publication 17.09.2022.*

Научная статья

УДК 581.1:631.8

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-41-49

**ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОУДОБРЕНИЯ ФЛАВОБАКТЕРИН  
НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И МИКРОФЛОРУ ПОЧВЫ  
ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ  
В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ РОСТА**

**Светлана Хазретовна Хуаз<sup>1</sup>, Мокгатла Коллен Рапетсоа<sup>2</sup>,  
Виталий Николаевич Лебедев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; huazsveta@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>

<sup>2</sup> Южноафриканский Национальный институт биоразнообразия, Исследовательский центр Кирстенбош, Клермонт 7735, Южно-Африканская Республика; Центр биологии инвазий, Факультет ботаники и зоологии, Стелленбошский университет, Матиланд 7602, Южно-Африканская Республика, mokgatlarapetsoa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5966-7764>

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», набережная реки Мойки, д. 48, Санкт-Петербург, 191186, Россия; antares-80@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

**Реферат.** Статья посвящена исследованию влияния микробиоудобрения Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30) на ростовые процессы и количество микроорганизмов почвы прикорневой зоны растений яровой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сорта Злата в различные фазы вегетации. В ходе исследования определялась динамика роста яровой пшеницы на 10-й, 20-й, 30-й, 40-й, 50-й, 60-й и 90-й дни вегетации, которые

соответствовали фенологическим фазам растений пшеницы: кущению, выходу в трубку, колошению, цветению, молочной и полной спелости. Измеряемыми показателями были установлены высота, сухая масса растений, количество микроорганизмов в прикорневой зоне почвы. Исследования проводились на опытном поле СПбГАУ г. Пушкин. Результатами исследования установлено, что инокуляция Флавобактерином способствовала существенному увеличению высоты, накоплению сухой массы растений, а также увеличивала количество микроорганизмов в почве. Интенсивность воздействия Флавобактерина на исследуемые показатели зависела от фазы развития растений пшеницы. Наиболее активное влияние микробиоудобрения на высоту и сухую массу пшеницы установлено в фазу кущения. На последующих фазах вегетации яровой пшеницы отмечается постепенное угасание влияния микробиопрепарата, но существенный прирост в высоте (5%) и сухой массе (7%) сохраняется на конечном этапе вегетации (фаза полной спелости). Также на ранних этапах активного роста растений (фаза кущения, фаза выхода в трубку) количество микрофлоры в почве возрастало, затем наблюдался постепенный спад. Флавобактерин способствовал увеличению количества микроорганизмов в почве на всех исследуемых этапах вегетации растений относительно контроля. Этапы роста и спада микрофлоры в почве прикорневой зоны растений совпадали в сравниваемых вариантах: без инокуляции и с ее применением.

**Ключевые слова:** микробиоудобрение, инокуляция, Флавобактерин, яровая пшеница, сухая масса, микроорганизмы, фазы роста

**Цитирование.** Хуаз С.Х., Рапетсоа М.К., Лебедев В.Н. Влияние микробиоудобрения Флавобактерин на ростовые процессы и микрофлору почвы прикорневой зоны яровой пшеницы в различные фазы роста // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(68). – С. 41–49 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-41-49.

## INFLUENCE OF FLAVOBACTERIN MICROBIOFERTILIZER ON GROWTH PROCESSES AND SOIL MICROFLORA OF SPRING WHEAT ROOT ZONE IN DIFFERENT GROWTH PHASES

Svetlana H. Khuaz<sup>1</sup>, Mokgatla C. Rapetsoa<sup>2</sup>, Vitaliy N. Lebedev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; uazsveta@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>

<sup>2</sup>South African National Biodiversity Institute, Kirstenbosch Research Centre, Claremont 7735, South Africa; Centre for Invasion Biology, Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, Matieland 7602, South Africa; [mokgatlarapetsoa@gmail.com](mailto:mokgatlarapetsoa@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5966-7764>;

<sup>3</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 emb.riv. Moyka, Saint Petersburg, 191186, Russia; [antares-80@yandex.ru](mailto:antares-80@yandex.ru); <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

**Abstract.** The article is devoted to research of Flavobacterin (Flavobacterium sp., strain 30) microbial fertilizer effect on the growth processes and the number of soil microorganisms of the root zone of spring wheat plants (*Triticum aestivum* L.) of Zlata variety in various phases of growing. During the study, the growth dynamics of spring wheat on the 10th, 20th, 30th, 40th, 50th, 60th and 90th days of vegetation was determined, which corresponded to the phenological phases of wheat plants: squash, tube exit, scale, scale-flowering, grain filling and full ripeness. The height, dry weight of plants, and the number of microorganisms in the root zone of the soil were measured. Studies were carried out in the experimental field of St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin. The results of the study found that Flavobacterin inoculation contributed to a significant increase in height, accumulation of dry weight of plants, as well as increased the number of microorganisms in the soil. The intensity of the effect of Flavobacterin on the studied parameters depended on the phase of

development of wheat plants. The most active effect of microbiofertilizer on the height and dry weight of wheat was found in the tillering phase. In subsequent phases of the spring wheat vegetation, there is a gradual extinction of the influence of the microbiopreparation, but a significant increase in height (5%) and dry weight (7%) is preserved at the final stage of the vegetation (full ripeness phase). Also, in the early stages of active plant growth (tillering and emergence phase), the number of microflora in the soil increased, and then there was a gradual decline. Flavobacterin increased the number of microorganisms in the soil at all studied stages of plant vegetation relative to the control. The stages of microflora growth and decline in the soil of the root zone of plants coincided in the compared variants: without inoculation and with its application.

**Keywords:** microbial fertilization, inoculation, Flavobacterin, spring wheat, dry mass, microorganisms, growth phases

**Citation.** Khuaz, S.Kh., Rapetsoa, M.K. and Lebedev, V.N. (2022), “Influence of Flavobacterin microbiofertilizer on growth processes and soil microflora of spring wheat root zone in different growth phases”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 41–19, (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-41-49.

**Введение.** Применение микробных удобрений на основе стимулирующих рост растений ризобактерий (PGPR) способствует усвоению питательных веществ, что благоприятствует росту растений и увеличению урожайности, улучшению качества растительной продукции, повышает толерантность растений к биотическим и абиотическим стрессам [1–8]. Внесение бактериальных удобрений увеличивает биогенность почвы (целлюлитическую активность, общее количество микроорганизмов, микромицетов и актиномицетов) [9; 10]. Корневые выделения стимулируют размножение бактерий в ризосфере, и в результате численность их возрастает на 2–3 порядка. Наиболее высокая численность микроорганизмов наблюдается в зонах с повышенной экскреторной активностью и особенно в фазы активного роста растений [11]. Наряду с перечисленными положительными действиями при применении бактериальных удобрений следует отметить, что их применение отмечается нестабильными результатами. Это требует дальнейшего тщательного изучения по влиянию применяемых биопрепаратов на факторы, действие которых непосредственно отражается на эффективности взаимодействия растительно-микробного комплекса, влияя на продуктивность растений и их качество.

**Цель исследования** – изучение влияния микробиоудобрения Флавобактерин на количество микроорганизмов в почве, определение высоты и сухой массы растений яровой пшеницы в различные фазы роста.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Вегетационные опыты проводились на опытном поле СПбГАУ согласно рекомендациям [12]. Исследования выполнены на растениях яровой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сорта Злата.

Посадка растений пшеницы производилась в пластмассовые вегетационные сосуды. В сосуды набивалось по 5 кг почвы, предварительно вносились минеральные удобрения. В опыте использовано минеральное удобрение – азофоска, согласно рекомендуемой дозе  $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$  г д.в. на кг почвы в сосуде [12]. Количество растений в сосуде выравнивалось до 20 штук. Данная сельскохозяйственная культура выращивалась в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. Влажность почвы поддерживалась на уровне 70–80% от полной ее полевой влагоёмкости.

В опыте использовался биопрепарат, предоставленный ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Санкт-Петербург – Пушкин), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30). Инокуляция семян проводилась жидким микробиопрепаратом непосредственно перед высевом согласно рекомендациям производителя. В контрольных вариантах обработка семян данным штаммом не применялась. Вегетационные эксперименты проведены в четырех повторностях.

Используемые в опытах – дерново-слабоподзолистые, среднесуглинистые, слабокислые, с низким содержанием усвояемых форм фосфора и калия, слабогумусированные почвы.

В течение вегетационного периода проводилась регистрация фенологических фаз растений. Динамика роста яровой пшеницы измерялась на 10-й, 20-й, 30-й, 40-й, 50-й, 60-й и 90-й дни вегетации, которые соответствовали фенологическим фазам растений пшеницы: кущению, выходу в трубку, колошению, цветению, молочной и полной спелости. Измеряемыми показателями были установлены высота и сухая масса растений.

Микробиологические исследования проводили с помощью посева почвенных суспензий из прикорневой и ризосферной зон методом предельных почвенных разведений глубинным способом на мясо-пептонном агаре (МПА) в трехкратной повторности. Исследования проводили согласно схеме по динамике роста яровой пшеницы. Они соответствовали фазам кущения, выхода в трубку, колошения, колошения-цветения, налива зерна и полной спелости из свежих почвенных образцов.

**Результаты исследования.** По результатам наших исследований применение Флавобактерина на всех этапах вегетации способствовало существенному увеличению растений в высоту и их сухой массы (табл. 1). На самом раннем этапе вегетации (10-й день, фенофаза – кущение), отмечался максимальный прирост в высоту (32%), на последующих этапах наблюдается спад прироста растений: в фазу выхода в трубку – 11%, в фазу колошения – 7% и в последующие исследуемые нами этапы филогенеза (фазы цветения, молочной и полной спелости) прирост в высоту сохраняется на уровне 5% относительно контрольных вариантов.

Таблица 1. **Высота и сухая масса растений яровой пшеницы в различные фазы развития**  
Table 1. **Height and dry weight of plants of spring wheat in different phases of development**

Вариант	День вегетации	Фаза развития	Высота,		Сухая масса,	
			см	Δ%	г/сосуд	Δ%
Контроль Флавобакерин	10	Кущение	27,0	0	1,32	0
			35,7	32	1,69	28
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>1,2</b>		<b>0,3</b>	
Контроль Флавобакерин	20	Кущение	42,6	0	4,91	0
			50,3	18	5,94	21
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>2,2</b>		<b>0,5</b>	
Контроль Флавобакерин	30	Выход в трубку	65,0	0	12,1	0
			72,0	11	14,6	21
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>6,6</b>		<b>1,5</b>	
Контроль Флавобакерин	40	Колошение	74,6	0	19,7	0
			80,0	7	22,4	14
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>4,7</b>		<b>1,8</b>	
Контроль Флавобакерин	50	Цветение	86,0	0	28,5	0
			92,0	7	31,7	11
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>6,1</b>		<b>1,3</b>	
Контроль Флавобакерин	60	Молочная спелость	92,0	0	37,5	0
			96,7	5	40,9	9
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>2,3</b>		<b>1,9</b>	
Контроль Флавобакерин	90	Полная спелость	93,5	0	51,3	0
			97,9	5	54,9	7
<b>НСР<sub>05</sub></b>			<b>5,2</b>		<b>3,3</b>	

При исследовании влияния Флавобактерина на накопление сухой массы растений пшеницы в течение всей вегетации была установлена положительная роль инокуляции. Существенный прирост сухой массы, который составляет от 7–28%, отмечается во всех

исследуемых фазах развития. Максимальный прирост сухой массы, который составил 28% относительно контрольного варианта, отмечен в фазе кущения на 10-й день вегетации. Минимальный прирост (7%) установлен в фазе полной спелости, учет был произведен после уборки урожая. Также важно отметить благоприятное воздействие биопрепарата в фазах: выхода в трубку (на 30-й день вегетации) – прирост сухой массы был установлен 21%, колошения – 14%, колошения-цветения – 11%, налива зерна – 9%. Однако в течение вегетации наблюдается спад влияния инокуляции на исследуемые показатели, и на конечном этапе развития разница в высоте растений между инокулированными и контрольными составляет 5%, а по сухой массе – 7%.

Микробиологические исследования показали (табл. 2), что применение бактериального удобрения повышает количество микроорганизмов в почве во всех исследуемых фазах вегетации относительно контрольных без инокуляции. В вариантах с Флавобактерином наблюдается постепенный рост количества микроорганизмов с фазы кущения (10-й день вегетации) до фазы колошения (50-й день вегетации). С фазы колошения-цветения (60-й день вегетации) до фазы полной спелости наблюдается постепенный спад количества микроорганизмов, тогда как в контрольных вариантах рост количества микроорганизмов происходит с фазы кущения (10-й день вегетации) до фазы выхода в трубку (30-й день вегетации), на дальнейших этапах онтогенеза растений наблюдается спад содержания микробов в почве. Разница при инокуляции относительно контрольных вариантов составляет 56 – 305%. Максимальная (305%) установлена на 60-й день вегетации (фаза колошения-цветения) из-за резкого спада количества микроорганизмов в контрольном варианте. Минимальное количество микроорганизмов в почве отмечается в фазе полной спелости, однако вариант с применением Флавобактерина сохраняет существенную разницу 96% относительно контроля.

Таблица 2. Количество микроорганизмов в различные фазы роста растений яровой пшеницы (КОЕ/1 г почвы)  
Table 2. The number of microorganisms in the soil in different growth phases of spring wheat plants (CFU/1 g of soil)

Вариант	День вегетации	Фаза развития	КОЕ/1г почвы	Прирост,%
Контроль Флавобакерин	10	Кущение	13,8·10 <sup>6</sup>	–
			21,5·10 <sup>6</sup>	56
Контроль Флавобакерин	20	Кущение	22,4·10 <sup>6</sup>	–
			37,4·10 <sup>6</sup>	67
Контроль Флавобакерин	30	Выход в трубку	33,6·10 <sup>6</sup>	–
			81,7·10 <sup>6</sup>	143
Контроль Флавобакерин	40	Колошение	19,8·10 <sup>6</sup>	–
			65,3·10 <sup>6</sup>	229
Контроль Флавобакерин	50	Цветение	8,9·10 <sup>6</sup>	–
			30,8·10 <sup>6</sup>	246
Контроль Флавобакерин	60	Молочная спелость	5,3·10 <sup>6</sup>	–
			21,5·10 <sup>6</sup>	305
Контроль Флавобакерин	90	Полная спелость	5,0·10 <sup>6</sup>	–
			9,8·10 <sup>6</sup>	96
НСР <sub>05</sub>	–	–	1,0·10 <sup>6</sup>	–

В соответствии с полученными данными (рис. 1, 2) усиленное взаимодействие растительно-микробного комплекса зафиксировано в фазах кущения, выхода в трубку и колошения ввиду того, что именно в этих фазах установлены усиленный рост растений в высоту, накопление сухой массы растений, а также отмечается увеличение количества микроорганизмов в почве прикорневой зоны. В фазу полной спелости наблюдается спад

количества микроорганизмов в исследуемой почве, что соответствует уменьшению влияния или его отсутствием во взаимодействии растительно-микробного комплекса в данный период вегетации.

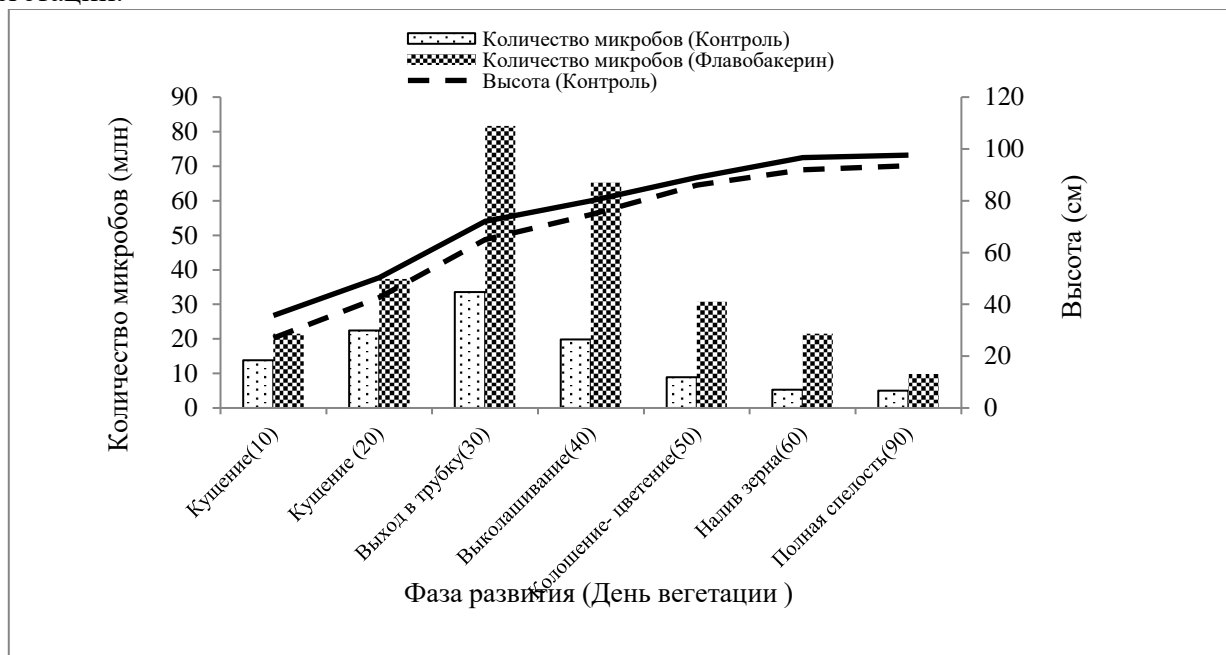


Рисунок 1. Влияние Флавобактерина на количество микробов в почве и высоту растений в различные фазы роста

Picture 1. The influence of Flavobacterin on the number of microbes in the soil and the height of plants in different growth phases

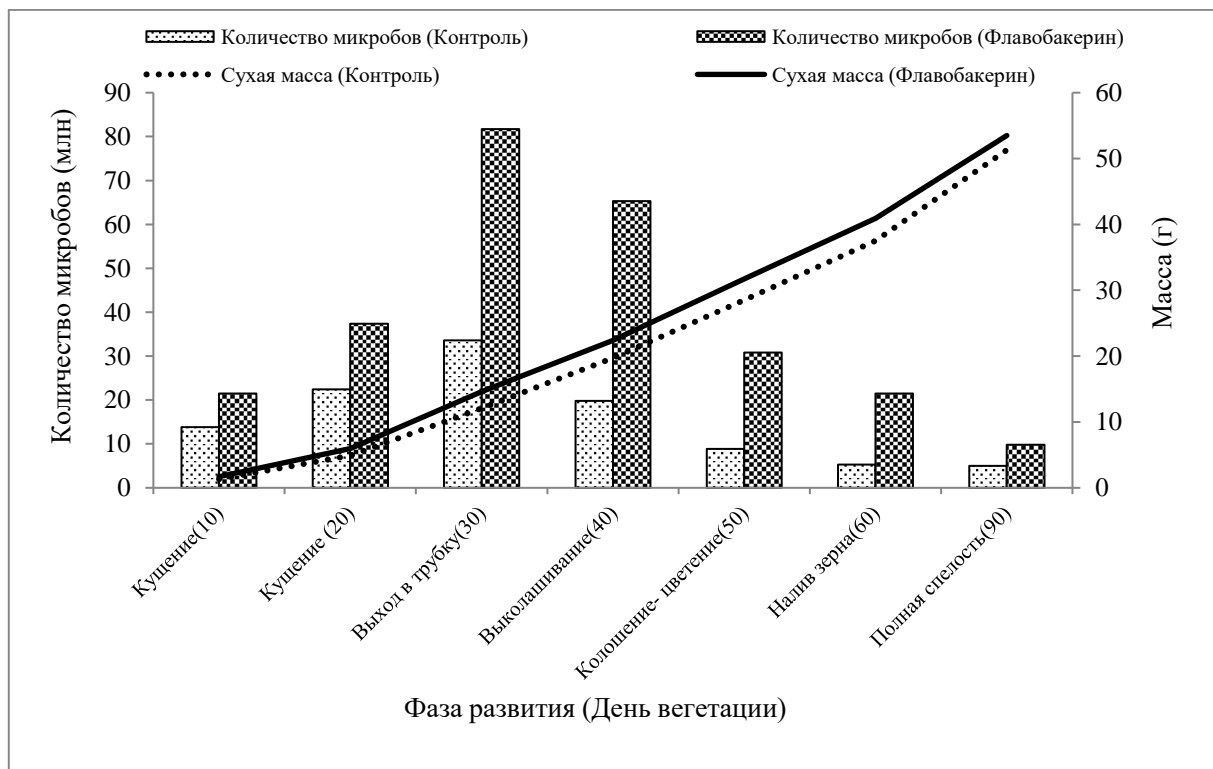


Рисунок 2. Влияние Флавобактерина на количество микроорганизмов в почве и сухую массу растений в различные фазы роста

Picture 2. Influence of Flavobacterin on the number of microbes in the soil and dry weight of plants in different growth phases

**Выводы.** Таким образом, инокуляция Флавобактерином способствовала существенному увеличению высоты, накоплению сухой массы растений, а также увеличивала количество микроорганизмов в почве. Интенсивность воздействия инокуляции на процессы роста и количество микрофлоры почвы зависела от фазы развития растений пшеницы. Наиболее активное влияние микробиоудобрения на показатели роста пшеницы установлено уже на 10-й день вегетации в фазу кущения, где был отмечен максимальный прирост в высоту 32% и сухой массы 28% относительно вариантов без инокуляции. На последующих фазах роста пшеницы отмечается постепенный спад влияния микробиопрепарата и на конечном этапе вегетации (фаза полной спелости) прирост по высоте составляет 5%, по сухой массе 7%. На ранних этапах активного роста растений (фаза кущения, фаза выхода в трубку) количество микрофлоры в почве возрастало в 1,5–4 раза, на последующих фазах колошения, колошения-цветения, налива зерна и полной спелости наблюдался постепенный спад. Флавобактерин способствовал увеличению количества микроорганизмов в почве на всех исследуемых этапах вегетации растений относительно контролей. Этапы роста и спада микрофлоры в почве прикорневой зоны растений совпадали в сравниваемых вариантах: без инокуляции и с ее применением. Минимальное количество микрофлоры отмечается в фазу полной спелости растений.

#### Список источников литературы

1. Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В., Попова Т.А., Орлова А.Г., Кокорина А.Л., Вайшляз О.Б., Агафонов Е.В., Гужвин С.А., Чураков А.А., Яковлева М.Т. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 3. – С. 369–376.
2. Хуаз С.Х., Ефремова М.А. Влияние предпосевной инокуляции биопрепаратами на продуктивность и накопление основных элементов питания ячменем двух сортов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(59). – С. 33–38.
3. Khuaz S.K., Kondrat S.V., Kozhemyakov A.P. Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 372. – P. 67–75.
4. Miransari M. Soil microbes and the availability of soil nutrients // Acta Physiol Plant. – 2013. – Vol. 35. – P. 3075–3084.
5. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Физиологические особенности и продуктивность горчицы белой при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями при нормальном увлажнении и почвенной засухе // Пермский аграрный вестник. – 2021. – № 3(35). – С. 52–58.
6. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А. Продуктивность растений семейства *Brassicaceae* при инокуляции семян бактериальными препаратами // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – Петрозаводск, 2017. – № 12. – С. 80–86.
7. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28–32.
8. Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. Эндوفитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 5. – С. 648–654.
9. Гамзаева Р.С. Влияние биопрепаратов и минеральных удобрений на общую биологическую активность почвы и урожайность ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 42. – С. 86–90.
10. Гамзаева Р.С. Количественная и качественная оценка биологической активности дерново-подзолистой почвы при применении бактериальных препаратов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1(58). – С. 103–109.
11. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. – 219 с.
12. Воробейков Г.А., Царенко В.П., Лунина Н.Ф. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии. – СПб.: Проспект науки, 2014. – 144 с.



## References

1. Kozhemyakov, A.P., Laktionov, Yu.V., Popova, T.A., Orlova, A.G., Kokorina, A.L., Vaishlyaz, O.B., Agafonov, E.V., Guzhvin, S.A., Churakov, A.A. and Yakovleva, M.T. (2015), "Agrotechnological foundations for the creation of improved forms of microbial biological products for agriculture", *Agricultural biology*, vol. 50, no. 3, pp. 369–376. (in Russian).
2. Khuaz, S.H. and Efremova, M.A. (2020), "The effect of presowing inoculation with biological products on productivity and accumulation of basic nutrition elements by barley of two varieties", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 59, no. 2, pp. 33–38. (in Russian).
3. Khuaz, S.K., Kondrat, S.V. and Kozhemyakov, A.P. (2022), "Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat", *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 372, pp. 67–75. (in Russian).
4. Miransari, M. (2013), "Soil microbes and the availability of soil nutrients", *Acta Physiol Plant*, vol. 35, pp. 3075–3084. (in Russian).
5. Lebedev, V.N., Vorobeykov, G.A. and Uraev, G.A. (2021), "Physiological features and productivity of white mustard during seed inoculation with associative rhizobacteria under normal moisture and soil drought", *Perm Agrarian Bulletin*, no. 3(35), pp. 52–58. (in Russian).
6. Lebedev, V.N. and Vorobeykov, G.A. (2017), "Productivity of plants of the Brassicaceae family during inoculation of seeds with bacterial preparations", *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, Petrozavodsk, no. 12, pp. 80–86. (in Russian).
7. Tikhonovich, I.A. and Zavalin, A.A. (2016), "Prospects of using nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation of the Russian Federation", *Fertility*, no.5, pp. 28–32. (in Russian).
8. Chebotar, V.K., Shcherbakov, A.V., Shcherbakova, E.N., Maslennikova, S.N., Patkin, A.N. and Malfanova, N.V. (2015), "Endophytic bacteria as a promising biotechnological resource and their diversity", *Agricultural Biology*, vol. 50, no. 5, pp. 648–654. (in Russian).
9. Gamzayeva, R.S. (2015), "The influence of biological preparations and mineral fertilizers on the overall biological activity of the soil and the yield of barley", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 42, pp. 86–90. (in Russian).
10. Gamzaeva, R.S. (2020), "Quantitative and qualitative assessment of the biological activity of sod-podzolic soil when using bacterial preparations", *Izvestiya Saint Petersburg State Agrarian University*, vol. 58, no. 1, pp. 103–109. (in Russian).
11. Vorobeykov, G.A. and Bredikhin, V.N. (2018), *Microorganisms in agrobiotechnologies and environmental protection* [Mikroorganizmy v agrobiotekhnologiyah i zashchite prirodnoj sredy], St. Petersburg, A.I. Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia, 219 p.
12. Vorobeykov G.A., Tsarenko V.P. and Lunina N.F. (2014), *Field and vegetation studies in agrochemistry and phytophysiology* [Polevye i vegetacionnye issledovaniya po agrohimii i fitofiziologii], Prospect nauki, St. Petersburg, Russia, 144 p.

## Сведения об авторах

**Хуаз Светлана Хазретовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 1481-8207.

**Мокгатла Коллен Рапетсоа** — магистр наук, Гроен Себенза, пионер биологического вторжения, Южноафриканский национальный институт биоразнообразия (SANBI) и научный сотрудник Центра биологического вторжения Стелленбошского университета.

**Лебедев Виталий Николаевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры ботаники, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», spin-код: 8554-9515.

## Information about the authors

**Svetlana H. Khuaz** – Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, associate professor of the Grassland Growing department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 1481-8207.

**Mokgatla C. Rapetsoa** – Master of Science, Groen Sebenza Pioneer Biological invasion, South African National Biodiversity Institution (SANBI) and Researcher for Centre for Invasion Biological (CIB), Stellenbosch University.

**Vitaliy N. Lebedev** – Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, associate professor of Department of Botany, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Herzen State Pedagogical University of Russia", spin-code: 0000-1234.

**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.

Научная статья

УДК 632.937

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-49-63

## ИСПЫТАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАПУСТЫ ОТ ОСНОВНЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Анатолий Иванович Анисимов<sup>1</sup>, Сергей Андреевич Доброхотов<sup>2</sup>,  
Ульяна Борисовна Рогозева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе д. 2.  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; anisimov\_anatoly@mail.ru,  
<http://orcid.org/0000-0003-0127-7610>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе д. 2.  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; dobrohotov-s@mail.ru,

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе д. 2.  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ubr9418@yandex.ru

**Реферат.** С целью ускорения развития органического земледелия в РФ необходимо выявление и официальное разрешение на применение более широкого спектра экологически малоопасных средств защиты сельскохозяйственных культур, выращиваемых по технологиям органического земледелия, в частности, биохимических препаратов (биологического происхождения, но не содержащих живых клеток) отечественного производства, что в настоящее время особенно актуально.

Ранее нами были обобщены результаты за 11 лет исследований по испытанию микробиологических препаратов и средств растительного происхождения для борьбы с вредителями на капусте. Для борьбы с чешуекрылыми вредителями (капустная моль, репная и капустная белянки) при выращивании капусты в условиях органического земледелия с достаточно высокой эффективностью можно применять препараты Лепидоцид и Битоксибациллин. Однако в отношении крестоцветных блошек и весенней капустной мухи высокоэффективных средств защиты, относящихся к этим группам, выявить не удалось. В данную публикацию включены материалы по оценке эффективности двух биохимических препаратов – Фитоверма (отечественный) и Спинтора (импортный), а для сравнения опытного образца микробиологического препарата – Бацикола и препарат растительного происхождения – Пиретрума. Мелкоделяночные эксперименты проводили на участках

органического земледелия, расположенных в учебно-опытном саду СПбГАУ, в сезоны 2015–2021 гг. на различных сортах белокочанной и цветной капусты.

Биологическую эффективность (БЭ) Фитоверма (в концентрации 1–2%) в борьбе с крестоцветными блошками оценивали неоднократно. Она варьировала от 25 до 75% (иногда эффекта не наблюдали), но была выше, чем у Бацикола (10–60%), используемого в концентрации 5%. В 2020 г. вместо третьей обработки Бациколом использовали Спинтор в концентрации 0,1% и получили высокую БЭ на уровне 90% на протяжении двух недель. К тому же этот препарат оказался высокоэффективен (90–100%) в отношении капустной моли. В 2021 г. столь же высокая БЭ Спинтора в борьбе с крестоцветными блошками показана на трех сортах белокочанной и менее высокая (50%) на цветной капусте. При этом препарат оказался высокоэффективным даже при концентрации 0.025%, тогда как Фитоверм значимой БЭ не показал.

Для борьбы с весенней капустной мухой достаточно эффективного и приемлемого в органическом земледелии средства пока не найдено.

**Ключевые слова:** органическое земледелие, капуста, биохимические препараты, крестоцветные блошки, капустная моль, биологическая эффективность

**Цитирование.** Анисимов А.И., Доброхотов С.А., Рогозева У.Б. Испытание биохимических препаратов для защиты капусты от основных вредителей в органическом земледелии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № (3) 68. – С. 49–63 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-49-63.

## TRIAL OF BIOCHEMICAL PREPARATIONS FOR MAIN CABBAGE PESTS CONTROL IN ORGANIC FARMING

Anatoly I. Anisimov<sup>1</sup>, Sergey A. Dobrokhotov<sup>2</sup>, Ulyana B. Rogozeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; anisimov\_anatoly@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0127-7610>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; dobrokhotov-s@mail.ru,

<sup>3</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia;ubr9418@yandex.ru

**Abstract.** In order to accelerate the development of organic farming in the Russian Federation, it is necessary to identify and officially permit the use of a wider range of environmentally friendly means of protecting crops grown using organic farming technologies, in particular, biochemical preparations (of biological origin, but not containing living cells) of domestic production, which is especially relevant today.

Previously, we summarized the results of 11 years study on microbiological and herbal agents testing for pest control on cabbage. To control Lepidoptera pests (diamondback moth, pierid cabbage white and turnip white butterflies) when growing cabbage in organic farming, Lepidocid and Bitoxibacillin preparations can be used with sufficiently high efficiency. However, with respect to cabbage flea beetles and cabbage root fly control, highly effective agents of these groups were not identified. This publication includes materials on the evaluation of the effectiveness of two biochemical preparations Fitoverm (domestic) and Spintor (imported), and for comparison of a prototype microbiological preparation – Batsikol and a preparation of plant origin - Pyrethrum. The experiments were carried out on the sites of organic farming, located in the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, in the seasons of 2015–2021 on various varieties of white cabbage and cauliflower.

The biological effectiveness (BE) of Fitoverm (at a concentration of 1–2%) in the cabbage flea beetles control was evaluated more than once. It varied from 25 to 75% (sometimes no effect was observed), but was higher than that of Batsicol (10–60%) used at a concentration of 5%. In 2020, instead of the third treatment with Batsicol, the Spintor was used at a concentration of 0.1% and received a high BE at the level of 90% for two weeks. In addition, this preparation was highly effective (90-100%) against the diamondback moth. In 2021, the same high BE of Spintor in the cabbage flea beetles control was shown on three varieties of white cabbage and less high (50%) on cauliflower. At the same time, the drug turned out to be highly effective even at a concentration of 0.025%, while Fitoverm did not show significant BE at 1% concentration.

A sufficiently effective and acceptable in organic farming means for the cabbage root fly control has not yet been found.

**Keywords:** *organic farming, cabbage, biochemical preparations, cabbage flea beetles, diamondback moth, biological efficiency*

**Citation.** Anisimov, A.I., Dobrokhotoy, S.A., Rogozeva, U.B. (2022), Trial of biochemical preparations for main cabbage pests control in organic farming, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 49–63, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-49-63.

**Введение.** В связи с потенциальной опасностью для человека и окружающей среды применения в традиционном земледелии пестицидов и азотных удобрений в мире успешно развиваются альтернативные системы земледелия, в том числе органическая. Продукцию органического земледелия потребляют главным образом состоятельные люди, но есть и те производители, которые выращивают экологически более чистую продукцию для своей семьи. В России имеется много залежных земель, которые десятилетиями не получали минеральные удобрения и пестициды, однако органическое земледелие развивается слабо. С целью ускорения его развития необходимо выявление и официальное разрешение (включение в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов) на применение более широкого спектра экологически малоопасных средств защиты сельскохозяйственных культур, выращиваемых по технологиям органического земледелия, в частности, биохимических препаратов отечественного производства, что в настоящее время особенно актуально.

Следует отметить, что термин «биохимические препараты» в плане защиты растений не имеет широкого распространения в силу своей многозначности и используется для более краткого обозначения препаратов, не включающих живых клеток (поэтому не просто «биологические»), а основанных на химических веществах микробиологической природы, обладающих токсическим действием в отношении вредных организмов, в частности, вредных насекомых.

Основными вредителями капусты, с которыми приходится вести борьбу на Северо-Западе РФ, а также в сходных по климатическим условиям странах Европы и Северной Америки, являются крестоцветные блошки (в основном *Phyllotreta cruciferae* Goeze) [1–5], капустная моль – *Pleutella xylostella* L. [1; 6–8], весенняя капустная муха – *Delia radicum* L. [1; 9–12], в меньшей степени репная *Pieris rapae* L. и капустная *Pieris brassicae* L. белянки [1].

**Цель исследования** – выявление эффективных средств борьбы с основными вредителями капусты в условиях органического земледелия на Северо-Западе РФ.

Ранее нами были обобщены результаты 11-летних исследований по испытанию микробиологических препаратов и средств растительного происхождения для борьбы с вредителями на капусте, которые опубликованы в данном журнале [13]. Было сделано заключение, что для борьбы с чешуекрылыми вредителями (капустная моль, репная и капустная белянки) при выращивании капусты в условиях органического земледелия с достаточно высокой эффективностью можно применять препараты Лепидоцид и

Битоксибациллин. Однако в отношении крестоцветных блошек и весенней капустной мухи высокоэффективных средств защиты, относящихся к этим группам, выявить не удалось.

В данную публикацию включены материалы по оценке эффективности в борьбе с вредителями капусты двух биохимических препаратов – Фитоверм (отечественный) и Спинтор (импортный), а для сравнения – опытного образца микробиологического препарата Бацикол и препарата растительного происхождения Пиретрум.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Эксперименты проводили на участках органического земледелия, расположенных в учебно-опытном саду СПбГАУ в сезоны 2015–2021 гг. на различных сортах белокочанной и цветной капусты.

Рассаду белокочанной и цветной капусты для дальнейшей высадки на опытное поле выращивали по органической технологии (без использования минеральных удобрений) в неотопливаемых поликарбонатных теплицах. Для выращивания рассады применяли, главным образом, раскисленный доломитовой мукой верховой торф и биогумус. Рассаду выращивали по кассетной технологии. Капусту выращивали в гребнях, сделанных орудием трактора. Расстояние между гребнями составляло 70 см, между растениями в ряду – 40 см. Площадь питания растений составила 0,28 м<sup>2</sup>. На участки, где выращивали капусту, внесли компост, приготовленный из смеси скошенного клевера и конско-опилочного навоза. В среднем в расчёте на 1 га вносили около 40–50 т полуперепревшего компоста.

В наших опытах использовался Фитоверм КЭ, содержащий 2 г действующего вещества на литр. Действующим веществом препарата является токсин аверсектин С – природная смесь четырех авермектинов В1а, А1а, А2а, В2а, продуцируемая почвенными бактериями *Streptomyces avermectilis*. Фитоверм включен в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ [14] для борьбы с вредными насекомыми и клещами на картофеле, овощных, плодовых, декоративных и некоторых других культурах, в частности, на капусте для борьбы с капустной и репной белянками, капустной совкой и капустной молью. В 2021 г. Фитоверм включен в Перечень средств производства для применения в системе органического и биологизированного земледелия на основе международных стандартов органического сельского хозяйства на сайте союза органического земледелия РФ [15]. Препарат применяли в концентрациях 1–2% при норме расхода 4–10 л на га.

Спинтор (=Спиносад), СК 240 г/л, создан на основе смеси токсинов спиносина А и спиносина D, продуцируемых почвенным актиномицетом *Saccaropolyspora spinoza* Mertz. e. Jau [16]. Включен в Государственный каталог РФ для борьбы с колорадским жуком на картофеле и западным цветочным трипсом на огурце, перце и цветочных культурах защищенного грунта [14]. В странах ЕС разрешен к применению в органическом земледелии. Препарат испытывали в концентрациях 0.025% – 0.2% при норме расхода 0,1 – 0,7 л на га.

Бацикол – опытный образец микробиологического препарата, созданного в ВНИИСХМ на основе аэробных грамположительных бактерий *Bacillus thuringiensis* штамма Н10. Штамм выделен из колорадского жука. В Государственном каталоге РФ не зарегистрирован. Образец препарата применяли в концентрациях 4–5% при норме расхода 20–25 л на га.

Пиретрум – препарат, созданный на основе долматской ромашки. В Государственном каталоге РФ не зарегистрирован. Продается в розничной торговле. Препарат применяли в концентрациях 1–1,5%, при норме расхода 3,6 – 5,4 л на га.

Учёт численности вредных насекомых проводили в 10 пробах по 3–5 растений в пробе (30–50 растений) на каждом из вариантов опыта по оценке эффективности препаратов. Растения осматривали визуально с верхней и нижней стороны листьев 1–2 раза в неделю.

Результаты учетов усредняли и рассчитывали ошибку среднего (SE). Для оценки достоверности различий использовали t-критерий Стьюдента.

Биологическую эффективность препаратов рассчитывали по формуле:

$$БЭ = \left(1 - \frac{aB}{Ab}\right) \times 100\%,$$

где БЭ – биологическая эффективность, %; А – средняя численность вредителей в опытном варианте до обработки; В – средняя численность вредителей в опытном варианте после обработки; а – средняя численность вредителей в контрольном варианте до обработки; b – средняя численность вредителей в контрольном варианте после обработки.

Ошибку БЭ рассчитывали с учетом ошибки произведения и частного переменных.

**Результаты исследований.** Применение Фитоверма в борьбе с крестоцветными блошками на белокочанной и цветной капусте при их выращивании по органической технологии мы проводили неоднократно, но с разной эффективностью. Так, в 2016 г. биологическая эффективность (БЭ) 1% Фитоверма в борьбе с крестоцветными блошками по датам учетов варьировала от 37 до 76%, при этом эффективность Бацикола была ниже (10–60%). В 2018 г. БЭ Фитоверма в борьбе с этими вредителями не превышала 25%.

В сезон 2020 г. нам впервые удалось подобрать высокоэффективное средство борьбы с крестоцветными блошками, т. к. на рынке средств защиты растений РФ появился биохимический препарат Спинтор, СК. В этом году плотность крестоцветных блошек на капусте, высаженной на участке органического земледелия СПбГАУ, превысила экономический порог вредоносности (ЭПВ) уже 8 июня. Первая обработка была проведена 15 июня. Опытные делянки опрыскивали, используя 20 мл препарата Пиретрум на 2 литра воды, или приблизительно 110 мл опытного образца микробиологического препарата Бацикол на 2,3 литра воды. Контрольные делянки опрыскивали водой. 16 июня прошел сильный дождь, что могло привести к снижению эффективности препаратов. Рост численности вредителей продолжился и 18 июня плотность крестоцветных блошек во много раз превышала ЭПВ. Поэтому 20 июня провели вторую обработку по той же схеме, что и первую. При этом норма расхода Пиретрума составила 3,57 л на га, а Бацикола – 19,64 л на га. Рабочая концентрация Бацикола была 4,8%, Пиретрума – 1%. Третья обработка капусты препаратами была проведена 26 июня. На участках, где до этого применяли Пиретрум, провели опрыскивание этим же препаратом, увеличив концентрацию до 30 мл на 2 л воды. На участках, где до этого применяли Бацикол, провели обработку Спинтором производства Великобритании, в концентрации 2 мл на 2 л воды. При третьей обработке норма расхода Пиретрума составила 5,4 л на га, Спинтора – 0,357 л на га. Рабочая концентрация Пиретрума – 1,5%, Спинтора – 0,1%. Проведение защитных мероприятий привело к повышению сохранности растений по сравнению с контролями.

Как видно из рис. 1А, первое опрыскивание Бациколом белокочанной капусты сорта Июньская привело к существенному снижению плотности крестоцветных блошек (в 1,5 раза;  $p < 0,05$ ), а в соответствующем контроле она не изменилась. На опытных делянках, где была высажена рассада цветной капусты (рис. 1Б), плотность крестоцветных блошек до обработки была меньше, но при применении Пиретрума снизилась значительно (в 1,9 раза;  $p < 0,001$ ). В контроле она также снизилась, но несколько меньше (в 1,6 раза;  $p < 0,01$ ).

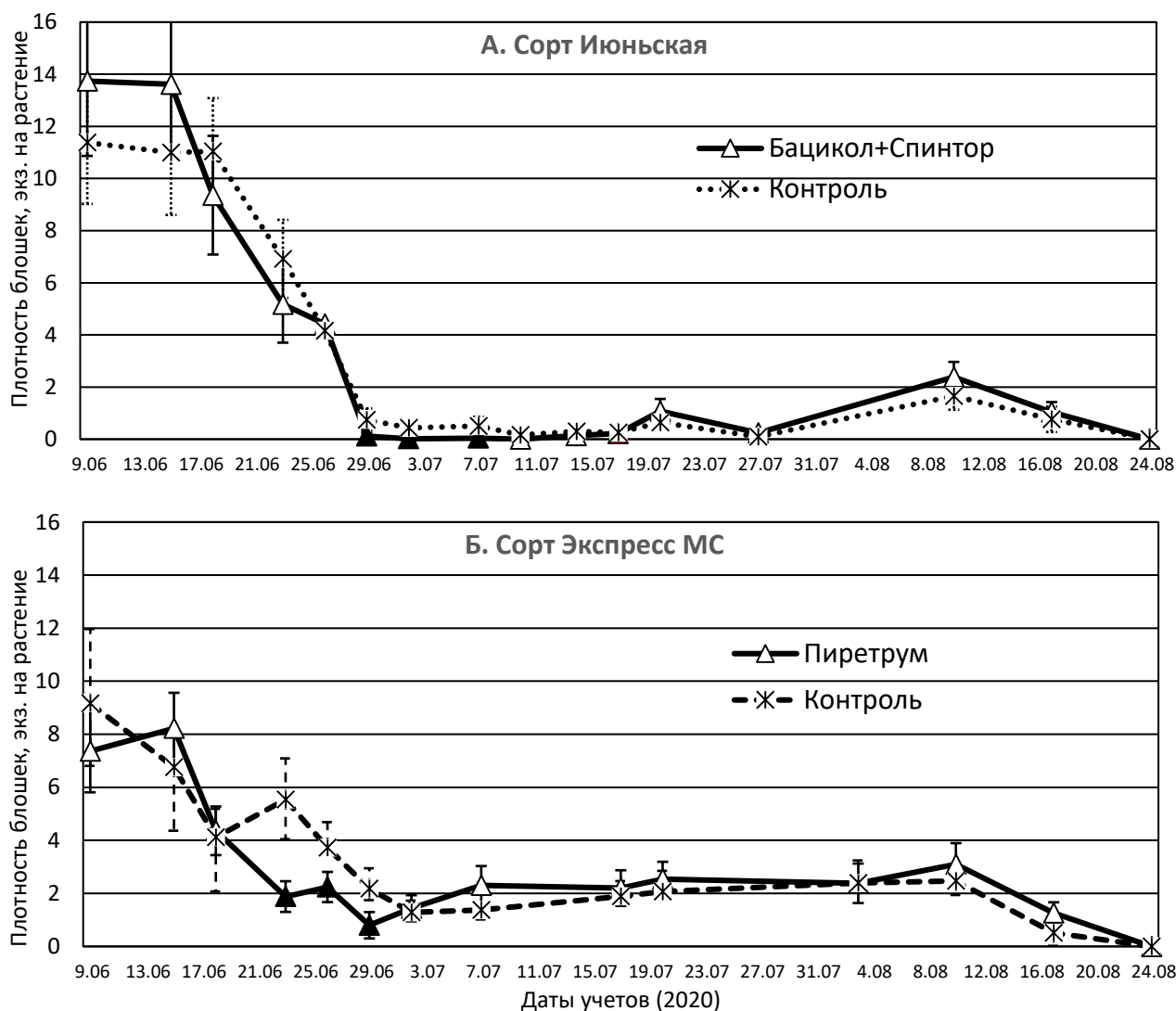


Рисунок 1. Динамика численности крестоцветных блошек на белокочанной капусте сорта Июньская и цветной капусте сорта Экспресс МС при применении препаратов Пиретрум, Бацикол и Спинтор

Планками погрешностей обозначены доверительные интервалы для уровня значимости 0,95. Заливкой обозначены значения, достоверно отличающиеся от контроля ( $p < 0,05$  по t-критерию Стьюдента)

Figure 1. Dynamics of cabbage flea beetles on the white cabbage variety Iyun'skaya and cauliflower variety Ekspress MS at Piretrum, Batsikol and Spintor treatment for pests control

Error bars indicate standard deviations for a probability of 0,95. Filling indicates values significantly different from control ( $p < 0,05$  according to Student's t-test)

Еще более ярко различия между Пиретрумом и Бациколом проявились после второй обработки. В первом случае плотность блошек снизилась в 2,3 раза ( $p < 0,001$ ) и стала высокодостоверно отличаться от контроля ( $p < 0,001$ ), опустившись ниже двух особей на растение. При использовании Бацикола она тоже снизилась, но не достоверно и всего в 1,8 раза ( $p > 0,05$ ), а в соответствующем контроле наблюдалось практически такое же снижение плотности вредителя (в 1,6 раза;  $p < 0,01$ ). К тому же плотность блошек превышала 4,4 особи на растение. Применение препарата Спинтор на белокочанной капусте сорта Июньская при третьей обработке резко изменило картину. К 26 июня плотность вредителей на сорте Экспресс МС немного подросла (не достоверно), а в контроле снизилась, а на сорте Июньская немного снизилась, но меньше, чем в контроле. Третья обработка препаратом Пиретрум и особенно Спинтором привела к резкому снижению численности блошек (в 2,8 и 36,8 раза, соответственно;  $p < 0,001$  в обоих случаях), но и в соответствующих контролях она тоже

снизилась. Однако применение Спинтора привело практически к полному исчезновению крестоцветных блошек на весь последующий период учетов до появления второй генерации вредителей в августе (рис. 1А), в то время как после обработок Пиретрумом почти 2 недели плотность вредителя оставалась на уровне 2,2–2,3 особи на растение и превышала контрольный уровень (рис. 1Б).

Расчет БЭ показал, что достаточно значительной и высокодостоверной она оказалась только при использовании биохимического препарата Спинтор в концентрации 0,1% (табл. 1). Достоверную БЭ показали также первая обработка биологическим препаратом Бацикол, вторая и третья – растительным препаратом Пиретрум. Низкая БЭ второй обработки Бациколом объясняется ее применением на фоне развивающегося эффекта первой обработки, что характерно для биологических препаратов. Низкая БЭ первой обработки Пиретрумом, возможно, связана с особенностями реакции этого препарата на дождь. Этот препарат дает положительный эффект в первые дни после опрыскивания, но спустя 6–14 дней БЭ оказалась отрицательной, что заставляет предполагать привлекающий крестоцветных блошек эффект Пиретрума.

Таблица 1. Биологическая эффективность (% ± SE) испытанных средств в борьбе с крестоцветными блошками на белокочанной сорта Июньская и цветной сорта Экспресс МС капусте (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2020)

Table 1. The agents tested biological efficiency (% ± SE) in cabbage flea beetles control on white cabbage variety Iyun'skaya and cauliflower variety Ekspress MS (educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, 2020)

Препарат	Сорт	Обработка	Дней после обработки			
			3	7	14	21
Бацикол	Июньская	1-ая	31.5 ± 13.67	-	-	-
		2-ая	<b>39.5 ± 11.71</b>	14.2 ± 17.88	-	-
Спинтор		3-я	<b>87.1 ± 5.16</b>	<b>96.3 ± 7.31</b>	<b>93.5 ± 6.88</b>	28.9 ± 39.22
Пиретрум	Экспресс МС	1-ая	13.0 ± 36.53	-	-	-
		2-ая	<b>72.1 ± 12.63</b>	<b>50.6 ± 10.50</b>	-	-
		3-я	<b>69.7 ± 4.32</b>	7.7 ± 12.04	-37.9 ± 42.06	4.0 ± 23.39

Примечание: вероятность отличия от нуля > 0.999 – **жирный курсив**, > 0.99 – **жирный шрифт**, > 0.95 – *курсив*, обычный шрифт – вероятность отличия от нуля меньше 0.95; – оценка невозможна

Note: probability of being different from zero > 0.999 – **bold italic**, > 0.99 – **bold**, >0.95 – *italic*, regular font – probability of being different from zero < 0.95 (not significant); – evaluation not possible

Препарат Спинтора относится к той же группе, что и Фитоверм, хотя они и различаются по действующим веществам. В России Фитоверм будет выгоднее применять, чем импортный Спинтор, но только в случае близкой эффективности. Поэтому в 2021 г. мы решили провести прямое сравнение эффективности этих препаратов в борьбе с крестоцветными блошками на трех сортах белокочанной и двух сортах цветной капусты. Фитоверм применяли в концентрации 1%, а Спинтор – в концентрациях от 0,025% до 0,2% (табл. 2; рис. 2). Из-за холодного дождливого мая 2021 г. и связанных с этим задержек с вспашкой опытного участка рассаду удалось высадить на постоянное место только в конце первой декады июня. Крестоцветные блошки на растениях капусты появились почти сразу после высадки рассады и в большом количестве. Обработку провели 21 июня после учета плотности вредителей.



Таблица 2. Плотность крестоцветных блошек (особей на растение  $\pm$  SE) на отдельных сортах белокачанной и цветной капусты в первые 2 недели после применения препаратов Фитоверм или Спинтор (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2021)

Table 2. Density of cruciferous flea beetles (insects per plant  $\pm$  SE) on some varieties of white cabbage and cauliflower in the first 2 weeks after the application of Fitoverm or Spintor (educational experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, 2021)

Сорт	Вариант	Даты учетов, 2021 г.				
		21.06	24.06	29.06	2.07	
Июньская	Спинтор 0.1%	11.6 $\pm$ 1.73 <i>z<math>\beta</math></i>	0.62 $\pm$ 0.14 <i>de</i>	1.24 $\pm$ 0.29 <i>e-n</i>	0.80 $\pm$ 0.176 <i>defg</i>	
	Фитоверм 1%	3.9 $\pm$ 0.88 <i>rstuv</i>	2.2 $\pm$ 0.38 <i>opqr</i>	3.2 $\pm$ 0.41 <i>rstu</i>	2.02 $\pm$ 0.27 <i>nopq</i>	
	Контроль	4.6 $\pm$ 0.88 <i>tuvw</i>	1.88 $\pm$ 0.26 <i>mnp</i>	1.82 $\pm$ 0.31 <i>l-p</i>	2.00 $\pm$ 0.30 <i>mnpq</i>	
Зимовка	Спинтор 0.1%	12.2 $\pm$ 1.53 <i>z<math>\beta</math></i>	0.74 $\pm$ 0.198 <i>dfg</i>	1.00 $\pm$ 0.171 <i>e-k</i>	0.72 $\pm$ 0.140 <i>def</i>	
	Фитоверм 1%	2.4 $\pm$ 1.11 <i>c-t</i>	1.28 $\pm$ 0.273 <i>f-o</i>	1.74 $\pm$ 0.369 <i>j-p</i>	0.52 $\pm$ 0.122 <i>bcd</i>	
	Контроль	2.2 $\pm$ 0.43 <i>m-r</i>	1.76 $\pm$ 0.355 <i>k-p</i>	1.60 $\pm$ 0.262 <i>k-p</i>	1.06 $\pm$ 0.258 <i>d-l</i>	
Мовир 74	Фитоверм 1%	11.1 $\pm$ 1.95 <i>yz<math>\beta</math></i>	5.7 $\pm$ 0.57 <i>vw</i>	5.0 $\pm$ 0.54 <i>uvw</i>	3.3 $\pm$ 0.49 <i>rst</i>	
	Контроль	12.4 $\pm$ 1.32 <i><math>\beta</math></i>	7.6 $\pm$ 0.71 <i>xy</i>	4.4 $\pm$ 0.64 <i>tuv</i>	3.4 $\pm$ 0.42 <i>st</i>	
Экспресс МС	Спинтор 0.1%	6.6 $\pm$ 0.82 <i>wx</i>	1.12 $\pm$ 0.17 <i>ghijkl</i>	0.94 $\pm$ 0.172 <i>d-j</i>	1.44 $\pm$ 0.259 <i>h-p</i>	
	Контроль	8.9 $\pm$ 1.09 <i>xyz</i>	3.0 $\pm$ 0.38 <i>rst</i>	1.82 $\pm$ 0.297 <i>l-p</i>	1.37 $\pm$ 0.203 <i>i-o</i>	
Подарок	Спинтор	0.2%	1.49 $\pm$ 0.324 <i>g-p</i>	0.05 $\pm$ 0.035 <i>a</i>	1.05 $\pm$ 0.235 <i>e-k</i>	0.23 $\pm$ 0.107 <i>ab</i>
		0.1%	2.4 $\pm$ 0.52 <i>m-s</i>	0.05 $\pm$ 0.050 <i>a</i>	1.26 $\pm$ 0.272 <i>f-m</i>	0.95 $\pm$ 0.180 <i>d-j</i>
		0.05%	3.2 $\pm$ 0.90 <i>pqrstu</i>	0.28 $\pm$ 0.088 <i>bc</i>	1.15 $\pm$ 0.231 <i>e-l</i>	0.74 $\pm$ 0.190 <i>def</i>
		0.025%	3.1 $\pm$ 0.54 <i>qrst</i>	0.75 $\pm$ 0.178 <i>df</i>	0.85 $\pm$ 0.225 <i>d-i</i>	1.25 $\pm$ 0.318 <i>e-o</i>
	Контроль	0.60 $\pm$ 0.155 <i>bcde</i>	1.75 $\pm$ 0.352 <i>k-p</i>	0.60 $\pm$ 0.189 <i>bcde</i>	0.80 $\pm$ 0.189 <i>d-h</i>	

Примечание: одинаковыми буквами обозначены достоверно не различающиеся значения ( $p < 0.05$  по t-критерию Стьюдента)

Note: Significantly different values are denoted by the same letters ( $p < 0.05$  according to Student's t-test)

Из представленных материалов видно, что обработка Фитовермом не оказала заметного влияния на численность крестоцветных блошек на всех исследованных сортах капусты (табл. 2). Хотя плотность вредителей и снизилась в 1,8 раза (не достоверно), но осталась на уровне контроля, где снижение составило 2,5 раза ( $p < 0,01$ ). В то же время применение Спинтора привело к резкому подавлению численности вредителя на обработанных участках. Плотность популяции крестоцветных блошек на третий день после обработки снизилась в 18,6 раза ( $p < 0,001$ ) и стала достоверно ( $p < 0,001$ ) ниже, чем в контроле (табл. 2). Таким образом, обработка белокачанной и цветной капусты раствором Спинтора дает однозначно лучший результат, чем обработка Фитовермом в 10 раз более высокой концентрации. Однако следует отметить, что положительное влияние Спинтора продолжается не более 12–13 дней, затем плотность имаго крестоцветных блошек на опытных делянках начинает расти, и после 15-го дня сравнивается с контролем (рис. 2), что для сдерживания роста их численности требует дополнительных обработок.

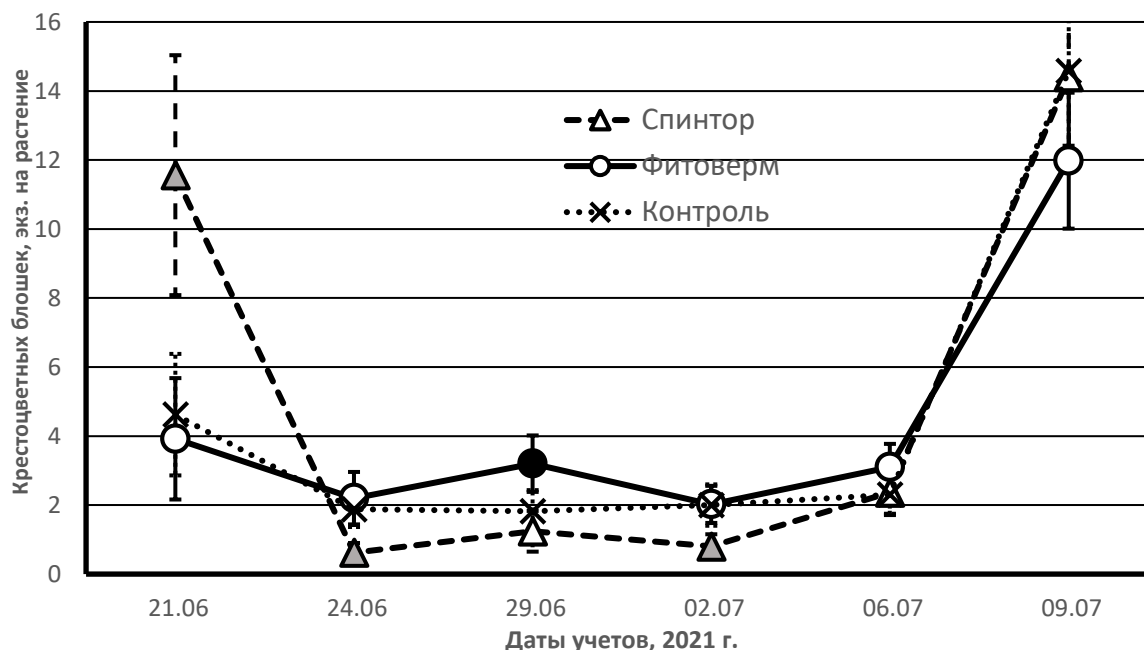


Рисунок 2. Динамика численности крестоцветных блошек на растениях белокочанной капусты сорта Июньская при использовании для борьбы с вредителями препаратов Спинтор или Фитоверм (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2021 г.)

Обозначения как на рисунке 1.

Figure 2. Dynamics of cabbage flea beetles on the white cabbage plants variety Iyun'skaya at Spintor or Fitoverm treatment for pest control (educational experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, 2021)

Designations as in Figure 1.

Расчет БЭ (табл. 3) в целом подтвердил сделанные заключения, но показал, что на цветной капусте Спинтор менее эффективен в борьбе с крестоцветными блошками, чем на белокочанной. Кроме того, оказалось, что при более низких концентрациях (0,05% и 0,025% препарат работает более надежно, чем при более высоких.

Таблица 3. Биологическая эффективность (% ± SE) препаратов Фитоверм и Спинтор в борьбе с крестоцветными блошками на трех сортах белокочанной и двух сортах цветной капусты (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2021)

Table 3. The Fitoverm and Spintor biological efficiency (% ± SE) in cabbage flea beetles control on 3 white cabbage varieties and 2 cauliflower varieties (educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, 2021)

Сорт	Вариант	Даты оценки, 2021 г.						
		24.06	29.06	2.07	6.07	9.07	11.07	
Июньская	Спинтор 0.1%	86.8±4.71	72.8±10.27	84.0±5.74	59.0±12.39	60.5±10.38	54.3±12.28	
	Фитоверм 1%	-37.9±50.47	-107±74.7	-19.0±42.17	-58.9±53.1	3.1±30.42	-29.5±40.9	
Зимовка	Спинтор 0.1%	92.5±3.05	88.9±3.69	87.9±4.70	87.0±4.34	76.2±6.23	82.5±4.82	
	Фитоверм 1%	35.0±37.30	2.8±54.54	56.2±26.21	-69.2±91.9	16.8±42.35	-8.0±55.01	
Мовир 74	Фитоверм 1%	17.1±20.48	-26.0±34.53	-8.3±30.44	-18.2±29.7	-43.5±34.6	-61.4±38.1	
Экспресс МС	Спинтор 0.1%	49.9±13.25	30.6±20.91	-41.2±41.16	-77.5±44.5	-17.8±24.7	-19.6±25.3	
Подарок	Спинтор	0.2%	98.8±0.92	29.3±36.28	88.4±7.28	37.5±28.05	54.6±16.71	41.4±22.13
		0.1%	99.3±0.78	47.1±27.04	70.0±13.86	48.9±21.82	75.4±8.84	55.2±16.66
		0.05%	97.1±1.58	64.1±19.19	82.6±9.11	73.8±12.73	77.7±9.07	66.1±14.18
		0.025%	91.8±3.62	72.8±14.03	70.0±14.20	71.4±12.44	81.5±6.43	75.6±8.64

Примечания как к табл. 1.

Notes as for table 1.

Что касается отсутствия эффективности препарата Фитоверм (по сравнению со Спинтором), то это может иметь две причины. Во-первых, мы покупали Фитоверм в розничной сети и мог попасться фальсификат. Во-вторых, испытанная концентрация Фитоверма могла быть недостаточной. Использованная препаративная форма (концентрат эмульсии) содержит 2 г/л действующего вещества, а Спинтора – 240 г/л, т. е. в 120 раз больше. Чтобы выровнять нормы внесения препаратов, нужно было применять Фитоверм в концентрации в 10–12 раз более высокой, т. е. выявление оптимальных норм расхода этих биохимических препаратов для борьбы с крестоцветными блошками еще предстоит.

На рис. 3А показана динамика численности крестоцветных блошек в 2021 г. на сорте Подарок.

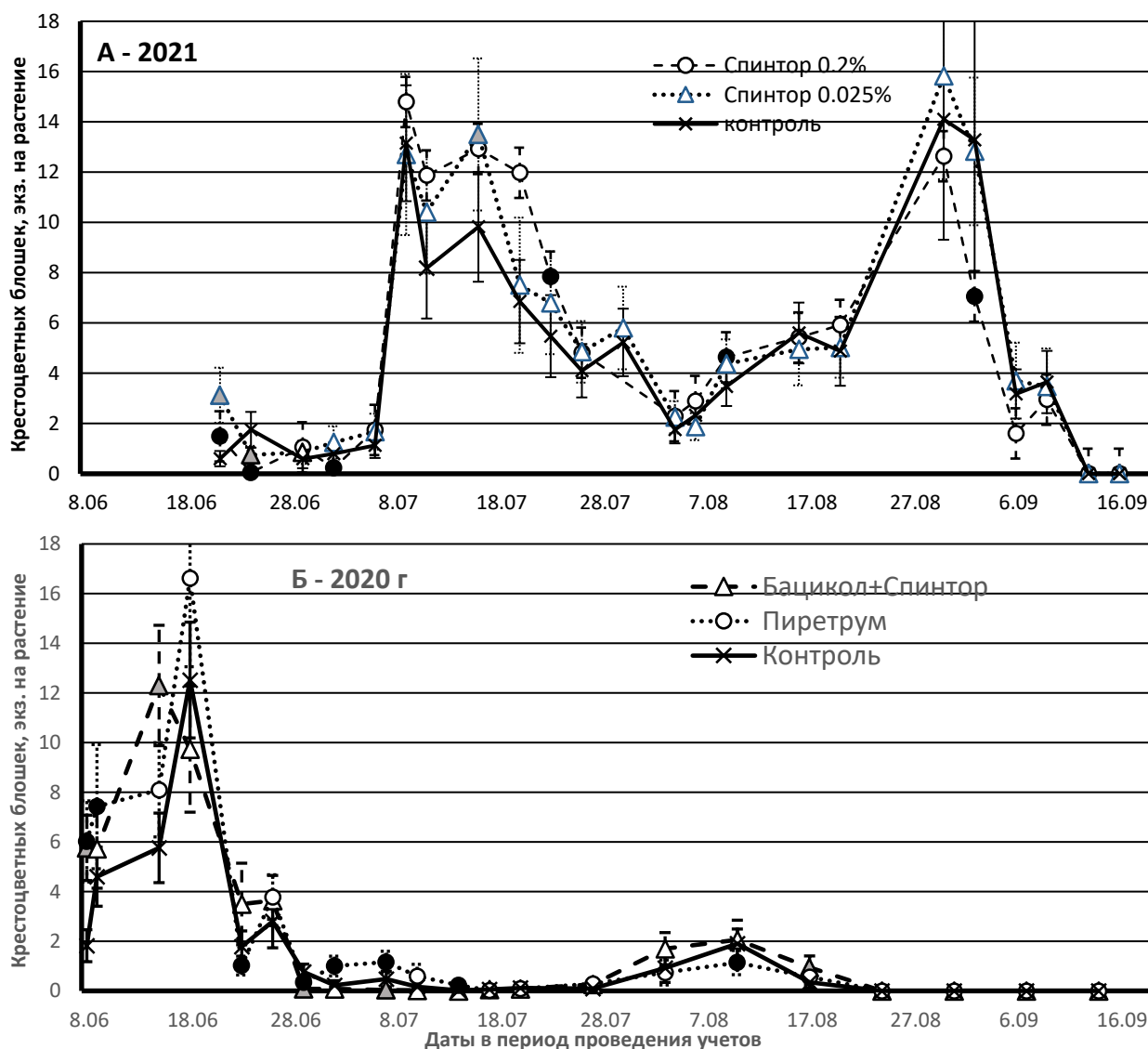


Рисунок 3. Динамика численности крестоцветных блошек на растениях белокочанной капусты сорта Подарок в 2021 (А) и 2020 (Б) гг.

Обозначения как на рисунке 1.

Figure 3. Dynamics of cabbage flea beetles on the white cabbage plants variety Podarok at 2020 (A) and 2021 (B) (educational experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University)

Designations as in Figure 1.

Год был очень необычным. Из рисунка видно, что крестоцветные блошки в 2021 г. в Ленинградской области впервые за многие годы наблюдений, помимо перезимовавшего, дали

еще два поколения, что было связано с необычно продолжительной жаркой погодой в июле. Видно также, что в 2021 г. на капусту из-за поздней высадки рассады на постоянное место под обработку, проведенную 21 июня, попала только последняя часть перезимовавшего поколения (конец июня), но численность первого (июль) и особенно второго (конец августа – начало сентября) поколений были очень высокими. В 2020 г. (рис. 3Б) динамика численности крестоцветных блошек была более типичная: основную массу блошек представляло перезимовавшее поколение, а в начале-середине августа иногда отмечалось небольшое увеличение численности, что можно объяснить частичным вылетом имаго первого летнего поколения. Динамика численности крестоцветных блошек, как наблюдаемая в 2021 г., должна приводить к значительному повышению их вредоносности на таких культурах, как рапс и рыжик, а также на зеленных капустных культурах типа рукола, которые можно выращивать весь сезон.

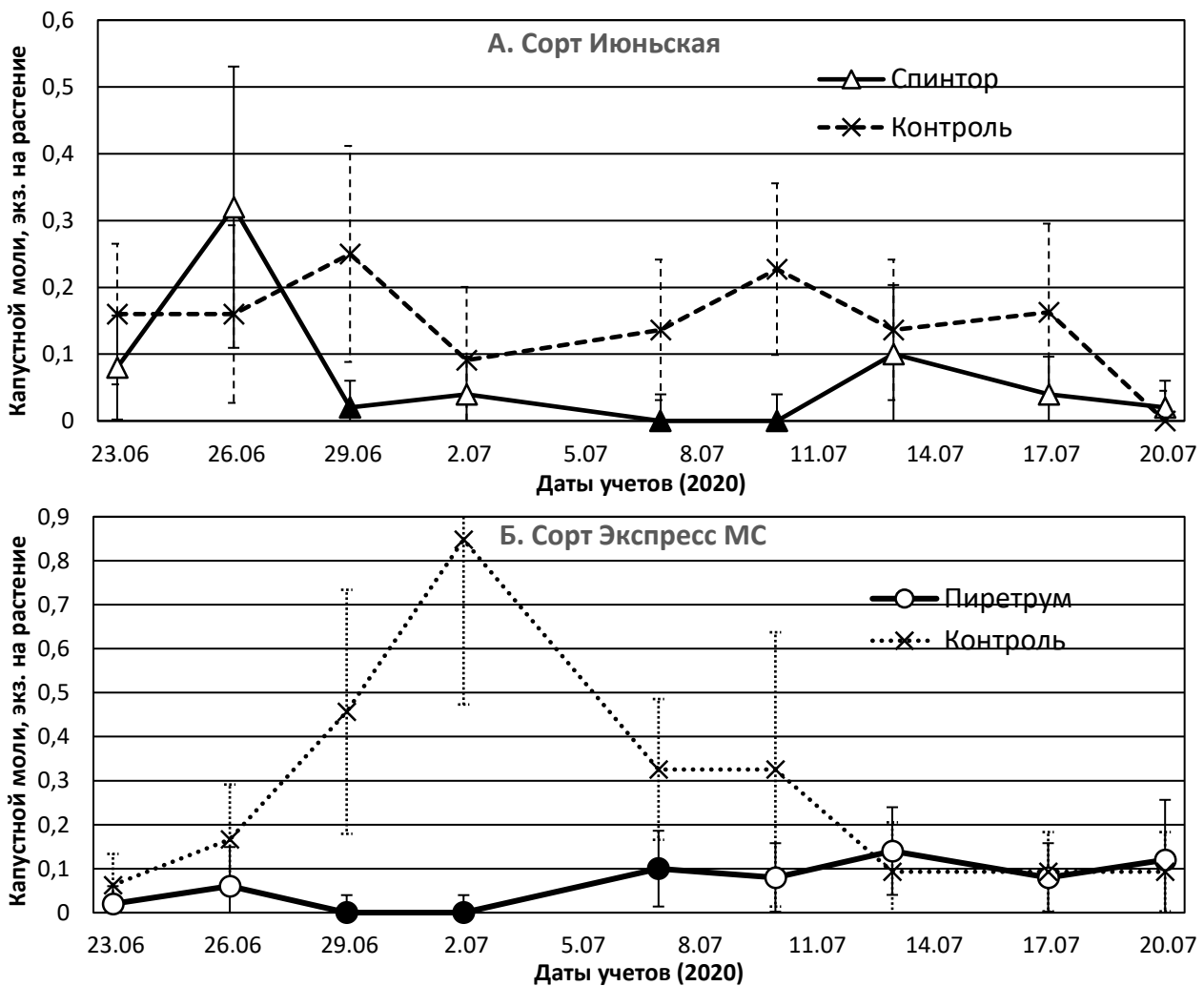


Рисунок 4. Динамика численности гусениц капустной моли при применении препаратов Пиретрум и Спинтор на растениях белокочанной капусты сорта Июньская и цветной капусты сорта Экспресс МС (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2020)

Обозначения как на рисунке 1.

Figure 4. Dynamics of diamondback moth on the white cabbage variety Iyun'skaya and cauliflower variety Ekspress MS at Piretrum or Spintor treatment for cabbage flea beetles control (educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, 2020)

Designations as in Figure 1.

В сезон 2020 г. гусеницы капустной моли на капусте, высаженной на участке органического земледелия СПбГАУ, впервые были отмечены 23 июня. Следовательно, они

попали под третью обработку Пиретрумом и единственную обработку Спинтором, которые оказали существенный эффект на динамику численности и этого вредителя. Как видно из рис.4, первоначально, да и на момент проведения обработок (26 июня), плотность гусениц капустной моли на опытных и контрольных участках была невысокой. На контрольных участках цветной капусты сорта Экспресс МС численность вредителя последовательно возрастала вплоть до 2 июля, в отличие от сорта белокочанной капусты Июньская, что характеризует использованный в опытах сорт цветной капусты, как более привлекательный для капустной моли. На этом фоне применение препаратов Пиретрум и Спинтор привело к достоверному снижению плотности капустной моли по отношению к соответствующим контрольным участкам. Достоверный эффект снижения численности вредителя по отношению к контролю при использовании препарата Пиретрум сохранялся до 7.07, а при использовании препарата Спинтор – до 10.07.

Расчет биологической эффективности применения Спинтора показал высокодостоверную ( $p < 0,001$ ) эффективность препарата на протяжении трех недель после обработки. Достоверная БЭ Пиретрума в отношении гусениц капустной моли наблюдалась только на протяжении одной недели (табл. 4). В 2021 г. первые гусеницы капустной моли на капусте были отмечены уже 6 июля, но через 10 дней после обработки, т. е. под обработку инсектицидами могли попасть только яйца и гусеницы младших возрастов. Гусениц и куколок моли отмечали на единичных растениях капусты до 26 июля. Их плотность была очень низкой. На пике численности на сорте Июньская она варьировала от 0,04 до 0,16 особи. Защитных мероприятий не проводили.

Таблица 4. Биологическая эффективность (%  $\pm$  SE) Спинтора и Пиретрума в борьбе с капустной молью на белокочанной сорта Июньская и цветной сорта Экспресс МС капусте (учебно-опытный сад СПбГАУ, 2020)

Table 4. The Spintor and Piretrum biological efficiency (%  $\pm$  SE) in diamondback moth control on white cabbage variety Iyun'skaya and cauliflower variety Ekspress MS (educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University)

Препарат	Сорт	Дней после обработки				
		3	6	11	14	21
Спинтор	Июньская	<b>96.0 <math>\pm</math> 4.70</b>	<b>78.0 <math>\pm</math> 23.37</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>87.7 <math>\pm</math> 11.86</b>
Пиретрум	Экспресс МС	<b>81.8 <math>\pm</math> 7.76</b>	<b>63.0 <math>\pm</math> 22.86</b>	1.4 $\pm$ 37.51	8.1 $\pm$ 33.55	-2.7 $\pm$ 40.96

Примечания как к табл. 1.

Notes as for table 1.

Таким образом в 2020–2021 гг. нам удалось выявить очень перспективный биохимический препарат – Спинтор, разрешенный для применения в органическом земледелии в Европейских странах, который можно с высокой биологической эффективностью использовать для борьбы с крестоцветными блошками при условии удовлетворительных результатов по экономической эффективности. Решение вопроса о его конкурентоспособности относительно отечественного препарата Фитоверм пока остается открытым. Однако надо иметь в виду, что при последних применениях этих препаратов для борьбы с крестоцветными блошками эффективно подавляется и капустная моль.

Что касается весенней капустной мухи, то наши попытки использовать Фитоверм для борьбы с этим вредителем в период 2017–2018 гг. при выращивании капусты по технологии органического земледелия существенным успехом не увенчались. Эффективность, если и отмечалась, то не более 50%. В то же время было отмечено, что на первом (с 2011 по 2016 г. и втором (с 2019 по 2021 г.) участках органического земледелия СПбГАУ вредоносности весенней капустной мухи не отмечалось. Эти факты дают надежду на возможность избежать в течение 3–6 лет потерь урожая от этого вредителя путем выращивания капусты на участках, достаточно

удаленных и изолированных от мест, где капуста или другие капустные культуры выращивались в течение длительный период.

### Выводы

1. После многолетних усилий удалось выявить очень перспективный биохимический препарат – Спинтор, разрешенный для применения в органическом земледелии в европейских странах, который демонстрирует высокую биологическую эффективность в борьбе с крестоцветными блошками и капустной молью.

2. Хотя применение препарата растительного происхождения Пиретрум и лабораторного образца микробиологического препарата Бацикол и дает эффект в борьбе с крестоцветными блошками и капустной молью, но значительно меньший, чем Спинтор, и не всегда однозначный.

### Список источников литературы

1. Эффективность микробиологических препаратов против основных вредителей овощных, ягодных культур и картофеля в Ленинградской области / Доброхотов С.А., Анисимов А.И., Гришечкина С.Д., Данилов Л.Г., Леднев Г.Р., Фурсов К.Н. // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 5. – С. 694–704. doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.694rus.
2. Augustin A., Tulisalo U., Korpela S. Flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) (Halticinae) on rapeseed and sugar beet in Finland. // Journal of Agricultural Science of Finland. – 1986. – №. 58. – p. 69–82.
3. Sustainable Management Tactics for Control of *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae) on Canola in Montana. Reddy G.V.P., Tangtrakulwanich K., Wu Sh., Miller J.H., Ophus V.L., Prewett Ju. // Journal of Economic Entomology. – 2014. – Vol. 107. – Issue 2. – p. 661–666. – URL: <https://doi.org/10.1603/EC13503>. (Дата обращения 12.07.2022).
4. Potential biopesticides for flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae) management under dry land canola production in Montana. Briar Sh., Shrestha G., Sharma A., Antwi F.B. // Phytoparasitica. – 2018. – Vol. 46. – №. 2. – p. 247–254. doi: 10.1007/s12600-018-0645-y.
5. Effect of nitrogen fertilization on flea beetle (*Phyllotreta cruciferae*) and cabbage seedpod weevil (*Ceutorhynchus obstrictus*) injury and crop yield in dry land canola. Briar Sh., Shrestha G., Sharma A., Reddy G.V.P. // Phytoparasitica. – 2019. – Vol. 47. – №. 5. – P. 637–645. doi:10.1007/s12600-019-00762-x.
6. The impact of parasitoids on diamondback moth in Europe: A life table approach. Haye T., Dancau T., Bennett A., Mason P. // The Canadian Entomologist. – 2021. – Vol. 153. – № 6. – p. 741–756. doi:10.4039/tce.2021.43.
7. Furlong M.J., Wright, D.J., Dosdall, L.M. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects // Annual Review of Entomology. – 2013. – Vol. 58. – P. 517–541. – URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>. (Дата обращения 12.07.2022).
8. Something old, something new: revisiting the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) life table after 65 years. Dancau T., Mason P.G., Cappuccino N., Haye T. // The Canadian Entomologist. – 2020. – Vol. 152. – Issu 1. – P. 70–88. doi: org/10.4039/tce.2019.70.
9. Natural regulation of *Delia radicum* in organic cabbage production. Meyling N.V., Navntoft S., Philipsen H., Thorup-Kristensen K., Eilenberg J. // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2013. – Vol. 164. – P. 183–189. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.019>. (Дата обращения 12.07.2022).
10. Chen Sh., Han Xu., Moens M. Biological control of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) with entomopathogenic nematodes // Applied Entomology and Zoology. – 2003. – Vol. 38. – № 4. – P. 441–448. doi:10.1303/aez.2003.441.
11. Comparative assessment of the parasitoid community of *Delia radicum* in the Canadian prairies and Europe: A search for classical biological control agents. Hemachandra Ks., Mason P., Soroka Ju., Holliday N.J. // Biological Control. – 2007. – Vol. 43. – № 1. – P. 85–94. doi: 10.1016/j.biocontrol.2007.07.005
12. Rannback L.-M. Biological control strategies against the cabbage root fly *Delia radicum*. Effect of Predators, Parasitoids and Pathogens // Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. – Alnarp, 2015. – 66 p.

13. Анисимов А.И., Доброхотов С.А., Рогозева У.Б. Испытание микробиологических и растительных средств для защиты капусты от основных вредителей в органическом земледелии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (66). – С. 79–87. doi: 10/24412/2078-1318-2022-1-79-87.
14. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации – М.: Минсельхоз России, 2021. – Часть 1. Пестициды. – 817 с.
15. Союз органического земледелия. Перечень средств производства для применения в системе органического и биологизированного земледелия на основе международных стандартов органического сельского хозяйства, 2021. – URL: <https://soz.bio/perechen-biopreparatov-i-bioudobren-2/> (Дата обращения: 28.05.2022).
16. Коппинг Л., Мени Дж. Биопестициды, продуцируемые актиномицетами и бактериями // Агро XXI. – 2003. – № 1–6. – С. 66–68.

### References

1. Dobrokhotoy, S.A., Anisimov, A.I., Grishechkina, S.D., Danilov, L.G., Lednev, G.R. and Fursov, K.N. (2015), “The effectiveness of microbiological preparations against the main pests of vegetable, berry crops and potatoes in the Leningrad region”, *Agricultural biology*, vol. 50, no. 5, pp. 694–704. (in Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.694rus.
2. Augustin, A., Tulisalo, U. and Korpela, S. (1986), “Flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) (Halticinae) on rapeseed and sugar beet in Finland”, *Journal of Agricultural Science of Finland*, no. 58, pp. 69–82.
3. Reddy, G.V.P., Tangtrakulwanich, K., Wu, Sh., Miller, J.H., Ophus, V.L. and Prewett, Ju. (2014), “Sustainable Management Tactics for Control of *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae) on Canola in Montana”, *J. Econ. Entomol.*, vol. 107, issue 2, pp. 661–666, available at: <https://doi.org/10.1603/EC13503> (Accessed 12 July 2022).
4. Briar, Sh., Shrestha, G., Sharma, A. and Antwi, F.B. (2018), “Potential biopesticides for flea beetle”, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae) management under dry land canola production in Montana, *Phytoparasitica*, vol. 46, no. 2, pp. 247–254. doi:10.1007/s12600-018-0645-y.
5. Briar, Sh., Shrestha, G., Sharma, A. and Reddy, G.V.P. (2019), “Effect of nitrogen fertilization on flea beetle (*Phyllotreta cruciferae*) and cabbage seedpod weevil (*Ceutorhynchus obstrictus*) injury and crop yield in dry land canola”, *Phytoparasitica*, vol. 47, no. 5, pp. 637–645. doi:10.1007/s12600-019-00762-x.
6. Haye, T., Dancau, T., Bennett, A. and Mason, P. (2021), “The impact of parasitoids on diamondback moth in Europe: A life table approach”, *The Canadian Entomologist*, vol. 153, no. 6, pp. 741–756. doi:10.4039/tce.2021.43.
7. Furlong M.J., Wright, D.J., and Dossdall, L.M. (2013), “Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects”, *Annual Review of Entomology*, vol. 58, pp. 517–541, available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605> (Accessed 12 July 2022).
8. Dancau, T., Mason, P.G., Cappuccino, N. and Haye, T. (2020), “Something old, something new: revisiting the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) life table after 65 years”, *The Canadian Entomologist*, vol. 152, issue 1, pp. 70–88, available at: <https://doi.org/10.4039/tce.2019.70>, (Accessed 12 July 2022).
9. Meyling, N.V., Navntoft, S., Philipsen, H., Thorup-Kristensen, K. and Eilenberg, J. (2013), “Natural regulation of *Delia radicum* in organic cabbage production”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 164, pp. 183–189, available at: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.019>. (Accessed 12 July 2022).
10. Chen, Sh., Han, Xu. and Moens, M. (2003), “Biological control of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) with entomopathogenic nematodes”, *Applied Entomology and Zoology*, vol. 38, no. 4, pp. 441–448. doi:10.1303/aez.2003.441.
11. Hemachandra, Ks., Mason, P., Soroka, Ju. and Holliday, N.J. (2007), “Comparative assessment of the parasitoid community of *Delia radicum* in the Canadian prairies and Europe: A search for classical biological control agents”, *Biological Control*, vol. 43, no. 1, pp. 85–94. doi:10.1016/j.biocontrol.2007.07.005.

12. Rannback, L.-M. (2015), "Biological control strategies against the cabbage root fly *Delia radicum*. Effect of Predators, Parasitoids and Pathogens", *Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences*, Alnarp, 66 p.
13. Anisimov, A.I., Dobrokhotov, S.A. and Rogozeva, U.B. (2022), "Trial of microbiological and herbal agents for main cabbage pests control in organic farming", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 66, no. 1, pp. 79–87. (in Russ.). doi: 10/24412/2078-1318-2022-1-79-87.
14. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennyh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii* [State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation], Moscow, Ministry of Agriculture of Russia, 2021, part 1 Pesticides, P. 817 (in Russ.).
15. *Soyuz organicheskogo zemledeliya. Perechen' sredstv proizvodstva dlya primeneniya v sisteme organicheskogo i biologizirovannogo zemledeliya na osnove mezhdunarodnyh standartov organicheskogo sel'skogo hozyajstva* [Union of organic farming. List of means for use in the system of organic and biologized farming based on international standards for organic agriculture], available at: <https://soz.bio/perechen-biopreparatov-i-biudobren-2/> (Accessed 28 May 2022). (in Russ.).
16. Copping, L. and Meni, J. (2003), "Biopesticides, produciруемые актинomicетами i bakteriyami", [Biopesticides produced by actinomycetes and bacteria], *Agro XXI*, no. 1–6, pp. 66–68. (in Russ.).

#### Сведения об авторах

**Анисимов Анатолий Иванович** – доктор биологических наук, профессор кафедры защиты и карантина растений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код 9878-7844.

**Доброхотов Сергей Андреевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, внештатный научный сотрудник лаборатории биологической борьбы с вредными насекомыми, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код 2986-0237.

**Рогозева Ульяна Борисовна** – аспирант кафедры защиты и карантина растений. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

#### Information about the authors

**Anatoly I. Anisimov** – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Plant Protection and Quarantine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Agrarian University", spin-code 9878-7844.

**Sergey A. Dobrokhotov** – PhD in Agricultural Sciences, freelance researcher at the Department of Plant Protection and Quarantine. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Agrarian University", spin-code 2986-0237.

**Ulyana B. Rogozeva** – post-graduate student of the Department of Plant Protection and Quarantine. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Agrarian University".

**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 05.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.09.2022 г.; принята к публикации 17.09.2022 г.*

*The article was submitted 05.08.2022; approved after reviewing 10.09.2022; accepted after publication 17.09.2022.*



Научная статья

УДК 576.895.132

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-64-72

**МЕТОДОЛОГИЯ ИТЕРАЦИОННОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ В ОЦЕНКЕ ЛЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ НА ОСНОВЕ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ НЕМАТОД (NEMATODA: STEINERNEMATIDAE)****Глеб Евгеньевич Сергеев<sup>1</sup>, Леонид Григорьевич Данилов<sup>2</sup>, Владимир Сергеевич Турицин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский НИИ защиты растений, шоссе Подбельского, д.3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия; sergeev-gleb-marina@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>2</sup>Всероссийский НИИ защиты растений, шоссе Подбельского, д.3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия; biodanlg@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе д. 2. Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; Turicin\_spb@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9066-0026>

**Реферат.** В статье предлагается к практическому применению оптимизированная методика оценки эффективности энтомопатогенных нематодных культур, используемых в качестве средства защиты растений от насекомых вредителей. Культуры различных видов нематод различаются не только по интенсивности гибели насекомых в процессе заражения нематодами, но также по активности проникновения инвазионных личинок в гемоцель хозяина. Тест-насекомыми в модельных опытах служили гусеницы вошинной огневки (*Galleria mellonella*). На конкретном примере, с применением стандартной культуры нематод вида *Steinernema feltiae protense* из семейства *Steinernematidae*, с учётом особенностей биологии использованного вида выполнены расчёты, иллюстрирующие сравнительную эффективность различных методов определения летальных норм расхода нематодных препаратов. Летальная норма расхода препарата, которая обуславливает гибель 50% объектов (LD<sub>50</sub>), оценивалась с использованием метода Кербера, метода пробитов, логитов и метода итерационной линеаризации. Изменения инвазионной активности нематод в опытах оценивали по эффективности заражения насекомых при температурах от 10 до 30°C. Оценку инвазионной активности нематод *Steinernema feltiae protense* проводили при пяти их дозах инвазионных личинок на чашку Петри, а в контрольном варианте вносили воду без нематод. Все варианты опыта и контроль имели пятикратную повторность. Уровень гибели насекомых в результате их заражения нематодами регистрировался через каждые 4 часа после начала заражения. Последний метод обеспечивает точность вдвое большую, чем два других метода, и поэтому заслуживает предпочтительного применения при оценке качества биологических препаратов, изготавливаемых на основе энтомопатогенных нематод.

**Ключевые слова:** энтомопатогенные нематоды, инвазионная активность, итерационная линеаризация, логиты, пробиты

**Цитирование.** Сергеев Г.Е., Данилов Л.Г., Турицин В.С. Методология итерационной линеаризации в оценке летальных концентраций биологических препаратов, изготавливаемых на основе энтомопатогенных нематод (Nematoda: Steinernematidae) // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 64–72 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-64-72.

## ITERATIVE LINEARIZATION METHODOLOGY FOR ESTIMATING LETHAL CONCENTRATIONS OF BIOLOGICAL PREPARATIONS BASED ON ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES (NEMATODA: STEINERNEMATIDAE)

Gleb E. Sergeev<sup>1</sup>, Leonid G. Danilov<sup>2</sup>, Vladimir S. Turitsin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Plant Protection Research Institute, Podbelsky Highway, 3, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; sergeev-gleb-marina@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>,

<sup>2</sup>All-Russian Plant Protection Research Institute, Podbelsky Highway, 3, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; biodanlg@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>

<sup>3</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; Turicin\_spb@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9066-0026>

**Abstract.** The article proposes for practical application an optimized methodology for evaluating the effectiveness of entomopathogenic nematode cultures used as a means of plant protection against insect pests. Cultures of different types of nematodes differ not only in the intensity of insect death in the process of infection with nematodes, but also in the activity of penetration of invasive larvae into the hemocele of the host. The insect caterpillars in model experiments were the caterpillars of honeycomb fire (*Galleria mellonella*). On a specific example, using a standard culture of nematodes of the species *Steinernema feltiae protense* from the *Steinernematidae* family, taking into account the peculiarities of the biology of the species used, calculations were made illustrating the comparative effectiveness of various methods for determining lethal consumption rates of nematode preparations. The lethal rate of drug consumption, which accounts for 50% mortality (LD50), was estimated using the Kerbe method, probit method, logit method, and iterative linearization method. Changes in the invasive activity of nematodes in experiments were evaluated by the effectiveness of insect infestation at temperatures from 10 to 30 °C. The invasive activity of *Steinernema feltiae protense* nematodes was evaluated at five doses of invasive larvae per Petri dish, and in the control version, water without nematodes was introduced. All options for experience and control had a fivefold repetition. The rate of death of insects because of their infection with nematodes was recorded every 4 hours after the onset of infection. The latter method provides an accuracy twice as high as the other two methods and therefore deserves a preferred application in assessing the quality of biological preparations manufactured based on entomopathogenic nematodes.

**Keywords:** entomopathogenic nematodes, invasive activity, iterations of linearization, logits, probits

**Citation.** Sergeev, G.E., Danilov, L.G. and Turitsin, V.S. (2022), “Iterative linearization methodology for estimating lethal concentrations of biological preparations based on entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae)”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 67, no. 3, pp. 64–72, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-64-72.

**Введение.** На основе проведенного скрининга 42 нематодных изолятов, выделенных из природных популяций видов и штаммов энтомопатогенных нематод (ЭПН) в различных природно-климатических зонах РФ, ранее были отобраны два вида нематод – *Steinernema feltiae*, штамм SRP-91 (основа препарата ЭНТОНЕМ-F) и *S. carpocapsae*, штамм «agriotos» (основа препарата НЕМАБАКТ). Инвазионная активность этих нематод исследуется в лабораторных и полевых условиях на следующих тест-объектах: гусеницы большой вошинной огневки (*Galleria mellonella*), личинки большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), личинки грибных комариков (*Sciaridae*), смородинная почковая моль (*Incurvaria capitella Cl.*), смородинная стеклянница (*Synanthedon tipuliformis Cl.*) [1]. Биологические нематодные

препараты для защиты растений изготавливаются на основе инвазионных личинок ЭПН, эффективность которых определяется качеством действующего компонента, проявляющего свои возможности в изменяющихся условиях окружающей среды. Особое внимание при этом уделяется изучению особенностей экологии энтомопатогенных нематод и характеру воздействия различных факторов среды обитания на проявление жизнедеятельности инвазионных личинок [2; 3; 4; 5]. На эффективность заражения вредоносных видов насекомых нематодами влияет, прежде всего, качество нематодной культуры, т. е. инвазионная активность нематод. Это качество меняется в зависимости от ряда обстоятельств: вида нематод, срока хранения культуры, температурных условий, способа культивирования (как на разных искусственных питательных средах, так и на насекомых) [6]. Существенен также и широкий спектр реакций по видам и штаммам ЭПН на воздействие окружающей среды [7; 8]. Культуры различных видов нематод различаются не только по интенсивности гибели насекомых в процессе заражения нематодами, но также по активности проникновения инвазионных личинок в гемоцель хозяина [9; 10; 11]. На форму зависимости «доза – эффект» большое влияние оказывают особенности объекта и препарата. Неизбежная нелинейность зависимостей в биологии вообще очень существенна [12]. Всё упомянутое сильно влияет на форму нелинейности, что обуславливает немалую проблему при оценке дозы летальных концентраций препарата. Обычно применяемыми здесь линеаризующими преобразованиями исходных оценок гибели насекомых от препарата (вроде простого их логарифмирования, пробит-преобразования с последующей полиномиальной интерполяцией) особенности эти учитываются плохо, нелинейность устраняется недостаточно, что весьма снижает достоверность и точность получаемых оценок.

В должной мере учитывать названные особенности объекта и препарата позволяет метод «итерационной линеаризации» [13], позволяющий существенно повышать точность оценки летальных концентраций по данным эксперимента. Для этого применяются рассчитываемые функции, которые преобразуют статистические распределения исходных значений переменных функций и аргумента. По ним данные эксперимента (оценка эффективности  $[X]$  для различных доз  $[D]$  исследуемого препарата) предварительно преобразуются, что обеспечивает линейность взаимосвязи между преобразованными значениями. Для перевода исходного значения  $Z$  в преобразованное  $z$  можно использовать с одинаковой эффективностью функции двух типов – логарифмические и экспоненциальные. При положительной асимметрии  $z$  логарифмическая функция имеет вид:  $z = a + b \cdot \ln(c+Z)$ , при отрицательной:  $z = a + b \cdot \ln(c - Z)$ . Функция экспоненциальная (при любом знаке асимметрии):  $z = a + b \cdot \exp(c \cdot Z)$ . Путём пошаговых приближений (итераций) компьютерная программа «Симметризация» определяет такие значения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  в этих функциях, при которых статистическое распределение преобразованной в  $z$  исходной величины  $Z$  обретает нулевую асимметрию. Влияние дозы препарата на процент гибели насекомых весьма нелинейно, но всегда монотонно. И поэтому линейность этой связи симметризирующими преобразованиями вполне обеспечивается (данный алгоритм и соответствующая программа «итерационная линеаризация» разработаны в ВИЗР и реализованы в пакете прикладных программ STAT). В результате дозы для задаваемой эффективности препарата определяются просто по линейной регрессии.

**Цель исследования** – с учетом особенностей биологии ЭПН и влияния многих факторов на их инвазионную активность предложить к практическому применению оптимальную методику оценки качества нематодных культур, используемых в системах защиты растений от насекомых-вредителей.

**Материалы, методы и объекты исследований.** В модельных опытах в качестве тест-насекомых были выбраны гусеницы вошинной огневки (*Galleria mellonella*). Использовались при этом энтомопатогенные нематоды (ЭПН) подвида *S. feltiae protense*, выделенные из почв аласов Республики Саха (Якутия) [14; 15]. Особенности проявления инвазионной активности и вирулентности у этой культуры нематод в отношении насекомых, которая проявляется в

более широком диапазоне температур (от 6 до 28<sup>0</sup>С), чем у других известных видов и штаммов ЭПН, послужили основой для изучения реальных возможностей оценки жизнедеятельности у инвазионных личинок нематод, на основе которых создаются новые биологические препараты.

Изменения инвазионной активности нематод в опытах оценивали по эффективности заражения насекомых при температурах от 10 до 30<sup>0</sup>С. Оценка инвазионной активности нематод *S. feltiae protense* проводили путем внесения в чашки Петри с 10 гусеницами восковой огневки инвазионных личинок в дозах 15, 30, 50, 70 и 100 экз. на чашку. В контрольном варианте вносили воду без нематод [9]. Все варианты опыта и контроль имели пятикратную повторность. Уровень гибели насекомых в результате их заражения нематодами регистрировался через каждые 4 часа после начала заражения.

Наряду с применением метода итерационной линеаризации при определении летальных концентраций препаратов (изготавливаемых на основе ЭПН), параллельно были проведены оценки инвазионной активности ЭПН тремя другими, обычно применяемыми методами (для сопоставления). Использованы при этом: метод Кербера, также методы преобразования в логиты и преобразований в пробиты [16]. Результаты применённых методов сравниваются между собой.

Расчёт дозы для 50%-ной эффективности, летальности исследуемого препарата (LD<sub>50</sub>) по методу Кербера выполнялся на основе функции:

$$\lg(LD_{50}) = \lg(D_{\max}) - \lg[S(X_i) - 0,5],$$

где D<sub>max</sub> – максимальный процент гибели среди вариантов эксперимента;

S(X<sub>i</sub>) – сумма эффективности по вариантам (но не в % гибели, а в долях). Необходимые вычисления стандартны и проведены общеупотребительными пакетами компьютерных программ по математической статистике, таких как EXCEL, STATISTICA, MATCAD.

**Результаты исследований.** Результат применения метода итерационной линеаризации при определении летальных концентраций препаратов (изготавливаемых на основе ЭПН) представлен ниже на данных конкретного эксперимента. Для сравнительной оценки не была включена непосредственная полиномиальная интерполяция, которая бывает достаточно эффективной, однако нередко требует также должной экспертной (и субъективной) оценки определения порядка, интерполирующего зависимость полинома для конкретного случая. При крайней же асимметрии показателей эффективности полином вообще может оказаться здесь практически непригодным. Результаты применённых методов сравниваются между собой.

В качестве примера определялась доза LD<sub>50</sub>, или летальная концентрация подвида ЭПН *S. feltiae protense* (активного начала нового биологического препарата протонема на основе этих паразитов), которая обуславливает 50%-ную эффективность применения этого патогена. Расчёты инвазионной активности этих нематод выполнялись по экспериментальным данным, полученным в процессе заражения этим подвигом нематод гусениц воцинной огневки, которые представлены в табл. 1.

Расчёт летальности исследуемого препарата (LD<sub>50</sub>) по методу Кербера выполнялся на основе функции

$$\lg(LD_{50}) = \lg(D_{\max}) - \lg[S(X_i) - 0,5],$$

где D<sub>max</sub> – максимальный процент гибели среди вариантов эксперимента;

S(X<sub>i</sub>) – сумма эффективности по вариантам (но не в % гибели, а в долях).

Применительно к полученным экспериментальным данным:

$$D_{\max} = 100; S(X_i) = 0,21 + 0,46 + 0,58 + 0,73 + 0,78 = 2,76;$$

$$\lg(LD_{50}) = \lg[(100) - \lg(2,76 - 0,5)]; \lg(Ld_{50}) = \lg(1,646); LD_{50} = 44,3.$$

Таблица 1. Результаты оценки инвазионной активности личинок нематод (*Steinernema feltiae protense*) при заражении гусениц вошинной огневки (*Galleria melonella*) с использованием двух методов линеаризации

Table 1. Results of evaluation of invasive activity of nematode larvae (*Steinernema feltiae protense*) in infection of caterpillars of the great honeycomb moth (*Galleria melonella*) using two methods of linearization

Доза препарата (D)	Исходная оценка гибели гусениц, % (X)	Стандартная ошибка для исходной оценки (m)	Оценка гибели в пробитах (P)	Оценка гибели в логитах		Симметризованные оценки гибели и дозы	
				Исходный логит (L)	Логит+5(l)	(d)	(x)
15	21	2,6	4,10	-1,32	3,68	25	25
30	46	1,3	4,88	-0,16	4,84	37	38
50	58	5,2	5,20	0,32	5,32	51	48
70	73	8,5	5,61	0,99	5,99	62	65
100	78	5,8	5,77	1,27	6,27	75	74

Летальная доза препарата, обеспечивающая гибель 50% объектов ( $LD_{50}$ ), в данном случае оценивается уровнем 44,3. Однако при оценке летальной дозы по функции Кербера очевидны два основных недостатка: прежде всего, здесь вообще игнорируется специфика нелинейности во взаимосвязи дозы препарата с процентом гибели вредителя (что само по себе способно повлечь существенную погрешность), и не учитывается статистическая значимость рассматриваемой зависимости определения стандартной ошибки для вычисляемой эффективности. Взаимосвязь экспериментально зарегистрированных эффективностей и задаваемых доз препарата (даже доказанная) способна настолько затеняться влиянием неучтённых сопутствующих факторов, что может вообще оказаться недостаточно надёжной для практического использования.

Кроме того, функция Кербера ограничивается только определением дозы для 50%-ной гибели вредного объекта, тогда как практический интерес представляют и дозы препарата, обеспечивающие иные уровни эффективности.

Использование преобразований исходных процентов смертности экспериментальных данных при расчёте  $LD_{50}$  по функциям пробитов (P) и логитов (L) уже само по себе существенно ослабляет нелинейность связи гибели подавляемых объектов и дозы применяемого препарата. Устранение нелинейности позволяет провести нелинейный регрессионный анализ (с подбором интерполирующего полинома должной степени), обеспечивающий дополнительно оценку статистической достоверности, детерминации в отношении эффективности препарата при той или иной его дозе, а также оценку стандартной ошибки прогноза доз для задаваемых эффективностей.

Расчитанные значения пробитов P и логитов L также приведены в табл. 1. При этом в шестом столбце (символ – буква l) содержатся те же значения столбца четвёртого (логитов, L), но увеличенные на константу 5, что сделано для иллюстрации сходства логитов и пробитов (на конечный результат оценки  $LD_{50}$  это не влияет). Логиты, в сущности, очень близки к пробитам, они лишь примерно на 5 значений меньше, поэтому для облегчения сопоставления к ним добавлена константа 5.

Столбец пробитов (P) по таблице «пробитов», имеющейся во многих руководствах по математической статистике, определяется по увеличенным на константу 5 значениям более распространённой таблицы «центральной функции Лапласа» (для значений аргумента X, выраженных не в процентах, а в долях, уменьшенных на 0,5). Например, для значения 0,29 (вместо соответствующего значения 21% в эксперименте) и для значения 0,23 (вместо 73%) получаем сначала значения центральной функции Лапласа – 0,90 и 0,61, а по ним пробиты, соответственно, –  $0,9 + 5 = 4,10$  и  $0,61 + 0,5 = 5,61$ . Затем рассчитываем уравнение регрессии

для пробитов, при этом используется функция регрессии в форме квадратичной параболы, поскольку прямая линия простейшей, линейной регрессии эмпирическим точкам на графике явно не соответствует.

Полученное уравнение регрессии для пробитов имеет вид:  $D = 589,084 - 272,9 P + 32,432 P^2 \pm 7,77$ , связь статистически достоверна на высоком уровне. Подставляя в уравнение значение пробита  $P = 5$  (соответствующее 50% гибели), получаем:  $D = LD_{50} = 35,4$ . Вероятный интервал значений имеет ширину:  $43,2 - 27,6 = 15,1$ . Таким образом, использование пробит-преобразований даёт оценку дозы, обеспечивающей гибель 50% объектов, равную 35,4. А в пределах стандартной ошибки эта доза может иметь значения от 27,6 до 43,2. И это оказывается за пределами оценки 44,3, данной по методу Кербера (следовательно, существенно завышенной). Эффективности же 90%, например, соответствует пробит 6,28. Подставив его в приведённое уравнение регрессии, можно получить оценку летальной дозы  $LD_{90}$ . Она составляет 154, с учётом стандартной ошибки – от 147 до 162.

Уравнение регрессии для логитов рассчитывается аналогичным образом. В отличие от пробитов, сами логиты  $L$  – это просто натуральные логарифмы отношения доли погибших гусениц к доле выживших:  $L = \ln[D/(1-D)]$ . Для  $D = 50\% = 0,5$ , соответственно:  $L = \ln [0,5/(1 - 0,5)] = 0$ ;  $l = L + 5 = 0 + 5 = 5$ .

Оценка дозы с заданной эффективностью применительно к логитам рассчитывается далее – тоже по уравнению регрессии второго порядка (квадратичной параболе). Для данного примера уравнение следующее:  $D = 189,904 - 93,317 \cdot l + 12,466 \cdot l^2 \pm 7,34$ . Подставив  $l = 5$  в уравнение регрессии, получаем  $LD_{50} = 35,0$ . Вероятный интервал значений составляет:  $42,3 - 27,6 = 14,2$  (результат чуть точнее, чем для пробитов).

Расчёт  $LD_{50}$  проводится с использованием метода итерационной линеаризации, в отличие от прочих методов, он позволяет повысить точность оценки вдвое. В компьютер вводятся экспериментальные значения процентов эффективности и соответствующие им дозы препарата. В результате выводятся: значение  $LD_{50}$ , график зависимости, точность оценки и итоговая формула (для определения иных доз, если к ним возникнет интерес).

Применительно к рассматриваемому примеру были рассчитаны следующие симметризирующие преобразования для дозы препарата  $D$  и процента гибели насекомых  $X$ :

$$d = 115,32 - 104,65 \cdot \exp(-0,009651 \cdot D); \quad x = 160,91 - 31,81 \cdot \ln(93,25 - X).$$

Расчёт летальных доз нематод осуществляется по простой линейной регрессии:  $d = 1,371 \cdot x - 22,67 \pm 13,4$ . Применительно же к исходным шкалам измерений доз  $D$  препарата и процента гибели гусениц  $X$  предоставляется итоговая формула:

$$D = 481,89 - 103,62 \ln[31,49 \cdot \ln(93,25 - X) - 44,47 \pm 2,57].$$

Задав  $X = 50$ , получаем оценку дозы  $D = LD_{50} = 35,7$ , а вероятный интервал значений составляет:  $39,3 - 32,2 = 7,1$ . По сравнению с результатами при использовании пробитов либо логитов – точность метода вдвое выше.

**Заключение.** Получены следующие итоги определения дозы  $LD_{50}$  различными методами. Оценка дозы с использованием метода Кербера.  $LD_{50} = 44$  (тогда как на самом деле – это доза  $LD_{60}$ ). Точность же результата при этом методе не определяется вообще. Использование метода пробитов.  $LD_{50} = 35,4$ , с доверительным интервалом – от 27,6 до 43,2 (ширина интервала возможных значений определяемой дозы составляет 15,6). Использование метода логитов.  $LD_{50} = 35,0$ , а вероятные пределы значения этой дозы: от 27,6 до 42,3 (ширина доверительного интервала составляет 14,7). Метод итерационной линеаризации.  $LD_{50} = 35,7$ : от 32,2 до 39,3 (ширина доверительного интервала 7). И правомерно заключить: метод итерационной линеаризации несомненно заслуживает предпочтения уже тем, что обеспечивает вдвое большую точность экспериментальной оценки эффективности препаратов.

## Список источников литературы

1. Данилов Л.Г. Разработка и практическое использование биологических препаратов на основе энтомопатогенных нематод для защиты растений // Теоретические основы разработки биологических средств защиты растений, новые отселектированные формы полезных организмов, технологии изготовления биологических средств защиты растений и их применение. – М., 2004. – С. 32–52.
2. Gaugler R., Lewis E., Stuart R.J. Ecology in the service of biological control: the case of entomopathogenic nematodes. – *Oecologia*, 1997. – Vol. 109, iss. 4. – P. 483–489.
3. Liu J., Poinar G., O., Berri R. E. Control of insect pests with entomopathogenic nematodes: the impact of molecular biology and phylogenetic reconstruction // *Ann. Appl. Entomol.* – 2000. – Vol. 45. – № 1. – P. 287–306.
4. Shapiro-Ilan, D. I., Bock, C. H., Hotchkiss, M. W. Suppression of pecan and peach pathogens on different substrates using *Xenorhabdus bovienii* and *Photorhabdus luminescens* // *Biological Control*. – 2014. – Vol. 77. – P. 1–6.
5. Cruz-Martínez H., Ruiz-Vega J., Matadamas-Ortiz P.T., Cortés-Martínez C.I., Rosas-Díaz J. Formulation of entomopathogenic nematodes for crop pest control // *Plant Protection Science*. – 2017. – Vol. 53. – P. 15–24.
6. Данилов Л.Г. Особенности проявления инвазионной активности энтомопатогенных нематод (Nematoda: Steinernematidae) в зависимости от абиотических и биотических факторов окружающей среды // *Вестник защиты растений*. – 2018. – № 3. – С. 38–42.
7. Данилов Л.Г., Турицин В.С. Особенности поведения и инвазионной активности энтомопатогенных нематод в зависимости от условий их культивирования на искусственных питательных средах // *Вестник защиты растений*. – 2016. – № 4 (90). – С. 66–72.
8. Morton A, García-del-Pino F. Ecological characterization of entomopathogenic nematodes isolated in stone fruit orchard soils of Mediterranean areas // *J. of Invertebrate Pathology*. – 2009. – № 102(3). – P. 203–213.
9. Методические указания по оценке инвазионной активности нематодных культур рода *Neoaplectana* (Steinernematidae) / сост. Веремчук Г.В., Данилов Л.Г. – Ленинград. 1978. – 11 с.
10. Сергеев Г.Е., Данилов Л.Г. Метод учета численности энтомопатогенных нематод в почве путем вылова на приманочное насекомое // *Вестник защиты растений*. – 2002. – № 2. – С. 38–45.
11. Сергеев Г.Е., Данилов Л.Г. Оценка объема ценопопуляции энтомопатогенных нематод (Steinernematidae и Heterorhabditidae) в почве по их вылову на приманочное насекомое // Второй Всероссийский съезд по защите растений. – Санкт-Петербург, 5–10 декабря 2005. – Фитосанитарное оздоровление экосистем: материалы съезда в 2 т. – 2005. – Т. 2. – С. 97–99.
12. Сергеев Г.Е. Корреляционный прогноз численности вредителей // *Защита растений*. – 1966. – № 10. – С. 42–43.
13. Сергеев Г.Е., Серапионов Д.А., Фролов А.Н. Методы итерационной линеаризации и корреляционной оптимизации в моделировании динамики численности насекомых // Тезисы докладов международной конференции «Информационные системы диагностики, мониторинга и прогноза важнейших сорных растений вредителей и болезней сельскохозяйственных культур», 12–16 мая 2008 года. – СПб., Пушкин, ВИЗР. – С. 90.
14. Иванова Т.С., Данилов Л.Г., Ивахненко О. А. Новый подвид энтомопатогенных нематод семейства *Steinernema feltiae protense subsp. n.* (Nematoda: Steinernematidae) из Якутии // *Паразитология*, 2001. – Вып. 35. – № 4. – С. 333–337.
15. Данилов Л.Г., Павлюшин В.А., Нащекина Т.Ю., Айрапетян В.Г. Новый природный изолят энтомопатогенных нематод активный при низких температурах: Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami – 2011». – *Nauk biologicznych.: Przemysł. Nauka i studia*. – 2011. – Vol. 42. – Str. 39–43.
16. Сергеев Г. Е. Многофакторная нелинейность и обеспечение экономической целесообразности защитных мероприятий // *Материалы Второго всероссийского съезда по защите растений, Фитосанитарное оздоровление экосистемы*. – СПб., 2010. – Т. 1. – С. 97–99.

## Reference

1. Danilov, L.G. (2014), "Rasrabotka i prakticheskoe ispolzovanie biologicheskix preparatov na osnove entomopatogennyih nematode dlja zaschityi rasteniy" [ Development and practical use of biological preparations based on entomopathogenic nematodes for plant protection], *Teoreticheskie osnovy rasrabotki biologicheskix sredstv zaschityi rastenij, novye otselektirovnyye formy poleznyx organizmov, texnologii izgotovleniya biologicheskix sredstv zaschityi rasteniy zaschityi rasteniy i ix primenenie*, Moskva, pp. 32–52.
2. Gaugler, R., Lewis E. and Stuart, R.J. (1997), "Ecology in the service of biological control: the case of ento-mopathogenic nematodes", *Oecologia*, vol. 109, iss. 4, pp. 483–489.
3. Liu, J., Poinar, G., O. and Berri, R.E. (2000), "Control of insect pests with entomopathogenic nematodes: the impact of molecular biology and philogenetic reconstruction", *Ann. Appl. Entomol.*, vol. 45, no. 1, pp. 287–306.
4. Shapiro-Ilan, D.I., Bock, C.H. and Hotchkiss, M.W. (2014), "Suppression of pecan and peach pathogens on different substrates using *Xenorhabdus bovienii* and *Photorhabdus luminescens*", *Biological Control*, № 77, pp. 1–6.
5. Cruz-Martínez, H., Ruiz-Vega, J., Matadamas-Ortíz, P.T., Cortés-Martínez, C.I. and Rosas-Díaz, J. (2017), "Formulation of entomopathogenic nematodes for crop pest control", *Plant Protection Science*, vol. 53, pp. 5–24.
6. Danilov, L.G. (2018), "Features of the manifestation of invasional activity of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae) depending on abiotic and biotic environmental factors", *Vestnik zaschityi rasteniy*, no. 3, pp. 38–42.
7. Danilov, L.G. and Turitsin, V.S. (2016), "Features of behavior and invasive activity of entomopathogenic nematodes depending on the conditions of their cultivation on artificial nutrient media", *Vestnik zaschityi rasteniy*, no. 4 (90), pp. 66–72.
8. Morton, A. and García-del-Pino, F. (2009), "Ecological characterization of entomopathogenic nematodes isolated in stone fruit orchard soils of Mediterranean areas", *J. of Invertebrate Pathology*, vol. 102(3), pp. 203–213.
9. Veremchuk, G.V. and Danilov, L.G. (1978), Metodicheskie ukazaniya po otsenke invazionnoy aktivnosti nematodnyih kultur roda *Neoaplectana* (Steinernematidae) [Guidelines for the evaluation of invasive activity of nematode cultures of the genus *Neoaplectana* (Steinernematidae)], Leningrad, 11 p.
10. Sergeev, G.E. and Danilov, L.G. (2002), "Method of accounting for the number of entomopathogenic nematodes in the soil by catching on a bait insect", *Vestnik zaschityi rasteniy*, S.-Peterburg-Pushkin, no. 2, pp.38–45.
11. Sergeev, G.E. and Danilov, L.G. (2005), "Otsenka obyema tseno-populyatsii entomopatogennyih nematod (Steinernematidae i Heterorhabditidae) v pochve po ih vyilovu na primanochnoe nasekomo" [Estimation of the amount of cenopopulation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in the soil by their catch on a bait insect], *Vtoroy Vserossiyskiy syezd po zaschite rasteniy. Sankt-Peterburg, 5-10 dekabrya 2005, Fitosanitarnoe ozdorovlenii ekosistem (Materialyi syezda v dvuh tomah)*, vol. 2, pp. 97–99.
12. Sergeev, G.E. (1966), "Correlation forecast of the number of pests", *Zaschita rasteniy*, no. 10, pp. 42–43.
13. Sergeev, G.E., Serapionov, D.A. and Frolov, A.N. (2008), "Metody iteratsionnoy linearizatsii i korrelyatsionnoy optimizatsii v modelirovanii dinamiki chislennosti nasekomyih" [Methods of iterative linearization and correlation optimization in modeling the dynamics of insect abundance], *Tezisyi dokladov mejdunarodnoy konferentsii Informatsionnyie sistemyi diagnostiki, monitoringa i prognoza vajneyshih sornyyih rasteniy vreditel'ey i bolezney selskohozyaystvennyih kultur*, SPb, Pushkin, VIZR, p. 90.
14. Ivanova, T.S., Danilov, L.G. and Ivahnenko, O.A. (2001), "Novyyi podvid entomopatogennyih nematod semeystv *Steinernema feltiae protense subsp. n.* (Nematoda:



- Steinernematidae) iz Yakutii“ [A new subspecies of entomopathogenic nematodes of the families Steinernema feltiae protense subsp. N. (Nematoda: Steinernematidae) from Yakutia], *Parazitologiya*, vol. 35, no. 4, pp. 333–337.
15. Danilov, L.G., Pavlyushin, V.A., Nасheкина T.YU. and Ayrapetyan V.G. ”Novyy prirodnyy izolyat entomopatogennykh nematod aktivnyy pri nizkikh temperaturah“ [New natural isolate of entomopathogenic nematodes active at low temperatures], *Materialy VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami - 2011»*, vol. 42, Nauk biologicznych., Przemysł. Nauka i studia, pp.39–43.
  16. Sergeev, G.E. Mnogofaktornaia nelineinost i obespechenie ekonomicheskoi tselesoobraznosti zatchitnih meropriatij [Multifactorial nonlinearity and ensuring the economic feasibility of protective measures], *Materialy vtorogo vserossiyskogo s'ezda po zatchite rasteniy, Phitosanitarnoe ozdorovlenie ekosistemy*, Sankt-Peterburg, 5-10 dekabria 2010 goda, pp. 97–99.

#### Сведения об авторах

**Сергеев Глеб Евгеньевич** – кандидат биологических наук, ведущий специалист, Всероссийский НИИ защиты растений

**Данилов Леонид Григорьевич** – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник. Всероссийский НИИ, защиты растений spin-code: 9060-0407.

**Турицин Владимир Сергеевич** – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

#### Information about authors

**Sergeev Gleb Evgenievich** – candidate of Biological Sciences, Leading Researcher.

**Danilov Leonid Grigorievich** – doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, spin-code: 9060-0407.

**Turitsin Vladimir Sergeevich** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture.

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 14.09.2022 г.; принята к публикации 20.09.2022 г.*

*The article was submitted 01.08.2022; approved after reviewing 14.09.2022; accepted after publication 20.09.2022.*

Научная статья

УДК 636.033

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-73-82

**МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ БЫЧКОВ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ  
КАВКАЗСКОЙ БУРОЙ ПОРОДЫ АРМЕНИИ**

**Харон Адиевич Амерханов<sup>1</sup>, Арам Мишаевич Мурадян<sup>2</sup>,  
Ольга Игнатьевна Соловьева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., д. 49, Москва, 127434, Россия; h.amerhanov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2219-805X>

<sup>2</sup> Национальный аграрный университет Армении, Терян 74, Ереван, 0009, Армения; 9090368@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6752-8948>

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., д. 49, Москва, 127434, Россия; milk-center@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6706-7491>

**Реферат.** Поиск резервов увеличения производства и улучшения качества говядины на основе повышения интенсивности использования породных ресурсов крупного рогатого скота относится к наиболее важным задачам, стоящим перед зоотехнической наукой и практикой. В статье представлено сравнение мясной продуктивности бычков разного происхождения. Объект исследований – чистопородные бычки кавказской бурой породы (контрольная группа, n=10) и пять групп помесей от трехпородного скрещивания кавказской бурой, джерсейской и голштинской пород разной кровности (опытные группы, n=50).

В возрасте 6 месяцев разность между контрольной и опытными группами по живой массе составила: 1-й – 10 кг (8,0%), 2-й и 3-й – 16 кг (12,5%), 4-й – 6,0 кг (4,7%) и 5-й – 3,0 кг (2,3%). При снятии с откорма в 18-месячном возрасте разность между группами составила соответственно: 27,3 кг (7,0%); 19 кг (5,0%); 25,3 кг (6,5%) и 27 кг (7,0%).

По результатам контрольного убоя бычков установлено, что особи 2-й опытной группы в сравнении с контрольной группой отличались большей предубойной массой на 27,3 кг (6,9%), большим выходом туш на 0,6%, от них получены хорошо обмускуленные туши в среднем 223,3 кг, высшей категории упитанности с равномерно распределенным жировым поливом. По соотношению мякоти на 1 кг костей и сухожилий у бычков контрольной и 1-й опытной группы разница составила 0,6 кг, а между 1-й и 3-й различия не установлены. При этом наибольшие различия (0,2 и 0,4 кг) отмечены между контрольной, 4-й и 5-й опытными группами. Туши с наименьшим содержанием жира (7,8%) были получены в 5-й опытной группе. По выходу мяса второй категории бычки контрольной группы превосходили сверстников опытных групп.

При изучении взаимодействия генотипа животных и среды на количество и качество мясной продуктивности установлено, что превосходство 1-й опытной группы над сверстниками, по всей вероятности, обусловлено умеренным сочетанием кровности используемых пород, т. е. наличием доли крови более 25% кавказской бурой породы, которая отличается лучшими адаптационными свойствами к природно-климатическим условиям Республики Армения и 50% кровности по голштинской породе.

**Ключевые слова:** кавказская бурая порода, голитинская порода, джерсейская порода, трёхпородные помеси, бычки, мясная продуктивность

**Цитирование.** Амерханов Х.А., Мурадян А.М., Соловьева О.И. Мясная продуктивность бычков разных генотипов кавказской бурой породы Армении // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 73-82 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-73-82.

## MEAT PRODUCTIVITY OF BULLS OF DIFFERENT GENOTYPES OF CAUCASIAN BROWN BREED OF ARMENIA

**Kharon A. Amerkhanov<sup>1</sup>, Aram M. Muradyan<sup>2</sup>, Olga I. Solovyova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya str. Moscow, 127434, Russia; h.amerhanov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2219-805X>

<sup>2</sup>National Agrarian University of Armenia, 0009, Armenia, Yerevan, Teryan 74; 9090368@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6752-8948>

<sup>3</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia; milk-center@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6706-7491>

**Abstract.** The search for reserves to increase production and improve the quality of beef based on increasing the intensity of use of breed resources of cattle is one of the most important tasks facing zootechnical science and practice. The article presents a comparative assessment of meat productivity, morphological and chemical composition of beef steers of different origin. The object of research is purebred Caucasian brown bulls (control group, n=10) and five groups of crossbreeds from three-breed crossing of Caucasian brown, Jersey and Holstein breeds of different genotypes (experimental groups, n=50).

At the age of 6 months, the difference between the control and experimental groups by live weight was: 1st 10 kg (8,0%), 2nd and 3rd 16 kg (12,5%), 4th 6,0 kg (4,7%) and 5th 3,0 kg (2,3%). When removed from fattening at 18 months of age, the difference between the groups was, respectively: 27,3 kg or (7,0%); 19 kg (5,0%); 25,3 kg (6,5%) and 27 kg (7,0%).

But according to the results of the control slaughter of bulls, it was found that the individuals of the 2nd experimental group, in comparison with the control group, differed in a greater pre-slaughter weight by 27,3 kg (6,9%), a greater yield of carcasses by 0,6%, heavy, well-muscled carcasses were obtained from them on average 223,3 kg, the highest category of fatness with uniform distribution of fat watering. According to the ratio of flesh per 1 kg of bones and bones and tendons in the bulls of the control and 1st experimental group the difference was 0,6 kg, and no differences were found between the 1st and 3rd groups. At the same time, the greatest differences (0.2 and 0.4 kg) were noted between the control, 4th and 5th experimental groups. Carcasses with the lowest fat content (7.8%) were obtained in the 5th experimental group. Bulls of the control group surpassed their counterparts of the experimental groups in meat yield of the second category.

When studying the interaction of the genotype of animals and the environment on the quantity and quality of meat productivity, it was found that the superiority of the 1st experimental group over its peers is most likely due to a moderate combination of bloodlines of the used breeds, that is the presence of a blood fraction of 25% of the Caucasian brown breed, which is distinguished by the best adaptive properties to the natural and climatic conditions of the Republic of Armenia, and 50% of the bloodline of the Holstein breed.

**Keywords:** Caucasian brown breed, Holstein breed, Jersey breed, three-breed crossbreeds, bulls, meat productivity

**Citation.** Amerkhanov, Kh. A., Muradyan, A.M., Solovyova, O.I. (2022), “Meat productivity of bulls of different genotypes of Caucasian brown breed of Armenia”, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 73-82, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-73-82.

**Введение.** Говядина и телятина обладают высокими пищевыми и кулинарными качествами. По сравнению с мясом других видов животных в говядине более благоприятно соотношение белка и жира. Кроме того, в говядине содержится меньше холестерина и больше высокоценных аминокислот-аргинин, лизин, гистидин, тирозин, триптофан, цистеин, а также разнообразных минеральных, экстрактивных и других веществ, специфичных только для говядины. Установлено, что переваримость и усвояемость её составляет 95% [1]. Качество говядины определяется соотношением входящих в её состав тканей-мышечной, жировой, соединительной, костной, хрящевой и химико-физической их свойствами. Мышечная ткань обычно составляет 50-60% от массы туши, жировая – до 18%, а костная и хрящевая –15–32%, которые зависят от упитанности животного [2; 3]. В странах с развитым мясным скотоводством производство говядины осуществляется на животноводческих предприятиях, использующих специализированные мясные породы [4]. Анализ производства говядины показывает, что в большинстве хозяйств генетические возможности животных используется не в полной мере, выращивание и откорм молодняка ведется с большими затратами труда и материальных ресурсов, что приводит к низкой рентабельности труда [5]. Вопрос обеспечения отечественного потребителя говядиной в ближайшие годы будет решаться путем повышения эффективности откорма бычков местного комбинированного и молочного направления продуктивности, убоя молодняка непригодного к воспроизводству стада или выбракованных взрослых животных [6].

Вследствие малочисленного поголовья мясного скота в Республике Армения все большую актуальность приобретает повышение мясной продуктивности комбинированных пород, в частности кавказской бурой.

Животные данной породы, хотя и являются позднеспелыми, способны длительной период наращивать мышечную ткань без интенсивного жиросотложения, обладают умеренной энергией роста и отлично используют пастбищные корма. Эта особенность породы используется и при совершенствовании внутривидовых типов [7].

Генетическая и паратипическая обусловленность количественных и качественных показателей мясной продуктивности кавказской бурой породы подтверждается многочисленными исследованиями. Чтобы кардинально изменить ситуацию в отрасли мясного скотоводства и обеспечить положительную динамику устойчивого развития производства мяса, в долгосрочной перспективе необходимо особое внимание уделять экономике специализированного скотоводства с использованием породных ресурсов и внедрения новых технологий.

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы является сравнение мясной продуктивности и качества мяса у бычков разного происхождения.

В задачи исследований входило:

- определить динамику живой массы бычков разных генотипов от рождения до 18-месячного возраста;
- провести сравнение мясных качеств бычков разного происхождения;
- установить оптимальный возраст убоя бычков разного происхождения;
- определить оптимальную массу при убое бычков разного происхождения на основе качественного состава туш.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Объектом исследований являлись чистопородные бычки кавказской бурой породы и трехпородные помеси с голштинской и джерсейской породами. Исследования проведены в учебно-опытном хозяйстве ГАУА в общине Балаовита Республики Армения. Для опыта были сформированы 6 групп бычков по

10 голов в каждой: одна группа чистопородная кавказская бурая – контрольная, и пять трехпородных групп: 1-я 1/4КБ х 1/4Дж х 1/2Г; 2-я 1/16КБ х 5/16Дж х 5/8Г; 3-я 5/8КБ х 1/8Дж х 1/4Г; 4-я 3/8КБ х 1/8Дж х 1/2Г и 5-я 1/2КБ х 1/8Дж х 3/8Г – опытные.

Подопытных бычков взвешивали на обычных весах при рождении, а также в возрасте 6, 9, 12, 15 и 18 месяцев. С целью оценки мясной продуктивности бычков в 540-дневном возрасте был проведен контрольной убой по 4 головы из каждой группы по методике ВИЖ (1977), где мы определяли съёмную и предубойную живую массу. Животных перед убоем оглушали электрическим током напряжением 70–120 В частотой 50 Гц, затем оглушенных бычков за задние конечности поднимали на подвесную линию при помощи лебедки. Методом перерезания крупных кровеносных сосудов шей осуществлялось обескровливание животных. Вес парной туши и массу внутреннего жира-сырца определяли до и после охлаждения в холодильной камере при  $t \pm 3^{\circ}\text{C}$ , а в дальнейшем вычитали убойную массу и убойный выход. После 24 часов охлаждения правую полутушу в обвалочном цехе мясокомбината согласно методике исследования разделили на пять естественно-анатомических частей: шейную, плечелопаточную, спинно-реберную, поясничную и тазобедренную. Все естественно-анатомические части подвергнуты обвалке, в результате которой был получен материал по содержанию мякотей, костей и сухожилий. По этим данным был определен выход мякоти на 1 кг костей (индекс мясности), жира и сухожилий [8]. В соответствии со стандартными методами отбора проб из каждой полутуши взяли кусок говядины, из него первичных проб массой по 400 г, а остальных упаковывали для дальнейшего отбора вторичных проб для разрушающего контроля для химического исследования в лаборатории кафедры химии ГАУА. Содержание влаги X, % вычисляли по формуле:

$$X = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1 - m}$$

где  $m_1$  – масса бюксы (стаканчиков) с анализирующей пробой, палочкой и песком перед высушиванием, г;

$m_2$  – масса бюксы (стаканчиков) с анализирующей пробой, палочкой и песком после высушивания, г;

100 – коэффициент пересчета в проценты;

$m$  – масса бюксы (стаканчиков) с песком, г.

Содержание белка в мясе устанавливали методом Лоури в модификации Ластырь (1978). Содержание жира определяли гравиметрическим методом в аппарате Сокслета. Содержание золы определяли путем сжигания сухого остатка в муфельной печи при температуре  $450 \pm 25^{\circ}\text{C}$  [9; 10]. В период проведения исследований бычки находились в одинаковых условиях кормления и содержания. До 6-месячного возраста содержание было беспривязное в групповых клетках, а затем привязное до конца выращивания. Выращивание бычков осуществлялось преимущественно на кормах собственного производства. Нормы кормления бычков разработаны с учетом породы, типа животных [11]. Эффективность выращивания бычков разных генотипов определяли путем сравнения комплексного показателя убоя.

**Результаты исследования.** Характеризирующим показателем роста животных является их живая масса. Динамика живой массы бычков представлена в табл. 1.

Таблица 1. Динамика живой массы бычков, кг (n=60)  
 Table 1. Dynamics of the diva weight of male calves, kg (n=60)

Возраст, мес.	Группа					
	Контрольная	Опытная				
		1	2	3	4	5
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
При рождении	28,0±0,71	31,0 ±0,6	31,0± 0,6	30,0±0,7	32,0±1,1	30,0±0,3
3	74,0±3,0	82,0 ±5,4	81,0± 3,6	76,0± 2,2	77,0± 3,8	78,0± 3,3
6	128,0± 1,2	138,0±2,5	144,0 ±5,9	144,0±6,0	134,0±4,7	131,0±7,6
9	183,0± 9,0	200,0± 3,7	195,0± 4,9	193,0± 6,1	193,0± 8,9	191,0±3,4
12	256,0 ±6,5	270,0±5,0	259,0±5,8	275,0± 4,9	276,0± 4,7	268,0±3,2
15	317,6 ±4,0	338,0±5,3	336,4±8,9	334,0±5,3	341,4±5,2	335,6±7,6
18	391,0 ±6,46	418,3± 6,6	410,0± 9,8	410,0±8,5	416,3±7,0	418,0±10,7

По данным табл. 1 при постановке на выращивание (в 6-месячном возрасте) бычки по живой массе превосходят сверстников контрольной группы: 1-я – на 10 кг, или 7,81%; 2-я и 3-я – на 16 кг, или 13%; 4-я на 6,0 кг, или 4,7% и 5-я на 3,0 кг, или 2,3%. С целью оценки влияния генотипа животных на количество и качество мясной продукции был проведен контрольный убой с последующей обвалкой четырех полутуш в каждой группе.

Результаты контрольного убоя бычков в среднем по генотипическим группам приведены в табл. 2 и 2а.

Таблица 2. Характеристика убойных качеств бычков разных генотипов  
 Table 2. Characteristics of slaughter qualities of bulls different genotypes

Показатель	Группа					
	Контрольная		Опытная			
	lim	M±m	1	2	Lim	M±m
Возраст, дней	–	540	–	540	–	540
Предубойная масса, кг	380...403	391±6,46	390...450	418,3±9,6	380...440	410±9,8
Масса парной туши, кг	203,5...213	207,1±2,67	208...243	223,3±9,82	173...231	206,3±16,27
Масса внутреннего жира-сырца, кг	6,0...7,4	6,6±0,39	8,5...11,0	9,6±0,70	7,3...9,0	8,1±0,48
Убойная масса, кг	209,5...220,3	213,7±3,03	218...251,5	232,9±9,40	180,3...238,8	214,4±16,42
Убойный выход, %	53,5...56,5	54,6±0,84	55,1...56,0	55,7±0,25	47,7...54,7	52,3±1,96
Выход туши, %	50,1...54,6	52,8±1,26	52,7...54,0	53,4±0,36	45,5...2,5	50,3±1,96
Выход внутреннего жира-сырца, %	1,5...1,8	1,7±0,08	2,1...2,4	2,3±0,08	1,9...2,05	2,0±0,04

Таблица 2а. Характеристика убойных качеств бычков разных генотипов  
Table 2a. Characteristics of slaughter qualities of bulls different genotypes

Показатели	Группа					
	Опытная					
	3		4		5	
	Lim	M±m	Lim	M±m	Lim	M±m
1	2	3	4	5	6	7
Возраст, дней	–	540	–	540	–	540
Предубойная масса, кг	390...440	410,0±8,5	410...450	416,3±7,0	400...445	418,0±10,7
Масса парной туши, кг	210...232	217,6±6,17	210,8...238,0	220,4±7,63	203...239,8	221,3±10,33
Масса внутреннего жира-сырца, кг	7,5...10,0	8,3±0,71	6,3...9,6	8,1±0,94	7,4...8,5	7,8±0,31
Убойная масса, кг	217,5...242,0	225,9±7,0	217,1...247,6	228,5±7,40	210,4...248,3	229,0±9,20
Убойный выход, %	54,5...55,7	55,1±0,29	54,3...55,0	54,8±0,17	52,6...57,1	54,7±1,09
Выход туши, %	52,5...54,1	53,1±0,39	50,1...53,7	52,9±0,87	50,7...53,9	52,9±0,78
Выход внутреннего жира-сырца, %	1,9...2,2	2,02±0,07	1,5...2,1	1,9±0,15	1,8...1,9	1,87±0,02

Помесные бычки 1-й опытной группы 1/4 кавказская бурая х 1/4 джерсейская х 1/2 голштинская отличались большей предубойной массой на 27,3 кг, или 6,9%, и, соответственно, большим выходом туш на 0,6%, чем чистопородные кавказские бурые сверстники. Результаты контрольного убоя показали, что бычки данной группы имели хорошо обмускуленные туши со средней массой 223,3 кг, высшей категории упитанности с равномерно распределенным жировым поливом.

Морфологический состав туши является важным количественным и качественным показателем.

Результаты сравнительной оценки морфологического состава туш, полученных от бычков разного происхождения, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Морфологический состав туш бычков разных групп (n=4)  
Table 3. Morphological composition of carcasses of bulls of different groups

Показатель	Группа					
	Конт- рольная	Опытная				
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Масса туши, кг	213,7± 2,40	232,9± 2,62	214,4± 2,41	225,9± 2,54	228,5± 2,56	229,1± 2,57
Масса полутуши, кг	106,8± 1,20	116,4± 1,31	107,2± 1,20	112,9± 1,27	114,2± 1,28	114,5± 0,64
Выход туши и жира, %	79,6± 0,89	81,4± 0,91	80,7± 0,90	79,4± 0,89	80,3± 0,90	80,3± 0,90
Масса костей, кг	19,7± 0,22	20,0± 0,22	18,8± 0,21	20,9± 0,23	21,1± 0,24	20,8± 0,23
Масса сухожилий, кг	2,1± 0,02	1,6± 0,02	1,8± 0,02	2,3± 0,03	1,4± 0,02	1,8± 0,02

Продолжение таблицы 3.

Выход костей, %	18,4± 0,21	17,2± 0,02	17,5± 0,20	18,5± 0,21	18,5± 0,21	18,2± 0,20
Выход сухожилий, %	1,9± 0,02	1,4± 0,02	1,7± 0,02	2,0± 0,02	1,2± 0,01	1,6± 0,02
Мякоти на 1кг костей и сухожилий, г	4,8± 0,06	5,4± 0,06	5,2± 0,06	4,8± 0,06	5,0± 0,06	5,0± 0,06

Анализ данных табл. 3 показывает, что выход туши и жира у помесных бычков 1-й и 2-й опытных групп имеет тенденцию к увеличению соответственно до 81,4 и 80,7%. Несколько ниже этот показатель установлен в 3-й опытной группе – 79,4%. Выход костей колеблется на уровне 17,2–18,5%.

Индекс мясности в группе бычков кавказской бурой породы и трехпородных помесных бычков 3-й опытной группы составил 4,8 кг.

Сравнительный анализ различия сортовой разделки полутуш по отрубам приведен в табл. 4.

Таблица 4. Сортовая разделка полутуш бычков  
Table 4. Varietal cutting of half-carasses of bulls

Показатель	Группы					
	Контрольная	Опытная				
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Высшая категория, кг	32.9±0,37	41.5± 0,47	33.7± 0,38	35.2± 0,39	40.9± 0,46	38.7± 0,43
На мясо, %	20.0±0,22	23.0± 0,26	21.0± 0,24	20.5± 0,23	22.5± 0,25	22.0± 0,25
Первая категория, кг	82.2±0,92	93.8± 1,05	81.9± 0,92	110.0± 1,23	92.7± 1,04	91.4± 1,03
На мясо, %	50.0±0,56	52.0± 0,58	51.0± 0,57	50.6± 0,57	51.2± 0,57	51.9± 0,58
Вторая категория, кг	49.3±0,06	45.1± 0,51	43.4± 0,49	49.6± 0,56	47.6± 0,53	46.0± 0,52
На мясо, %	30.0±0,34	25.0± 0,28	27.0± 0,30	28.9± 0,32	26.3± 0,30	26.1± 0,29

Так, у помесных бычков 1-й группы в среднем было получено мяса высшей категории больше на 8,6 кг, или на 26,1%, чем у кавказских бурых сверстников. Это оказало влияние на величину выхода туш первой категории – 11,6 кг, или 12,4%, а по второй категории кавказская бурая порода превосходит трехпородных помесных бычков.

В табл. 5 и 5а представлены абсолютная масса и удельный вес внутренних органов бычков.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показывает, что по массе внутренних органов особых различий между группами не установлено. Следует отметить отличия по массе сердца и желудочно-кишечного тракта (1,89 кг, или 0,45%, и 25,8 кг или 6,2%) у помесных бычков 1-й опытной группы.



Таблица 5. Абсолютная масса и удельный выход внутренних органов бычков  
Table 5. Absolute mass and specific yield of internal organs of bulls

Группа	Показатель	Внутренние органы					
		Сердце		Легкие и трахея		Печень	
		кг	%	кг	%	кг	%
Контрольная	Lim	1,61... 1,71		3,5...3,6		4,4...5,4	
	M±m	1,67±0,03	0,43	3,53± 0,03	0,90	4,93±0,28	1,26
1-я опытная	Lim	1,82...1,94		4,83...5,3		5,73...5,85	
	M±m	1,89±0,03	0,45	5,11±0,13	1,22	5,80±0,03	1,39
2-я опытная	Lim	1,70...1,95		3,50...4,1		5,6...5,93	
	M±m	1,83±0,07	0,45	3,75±0,17	0,91	5,81±0,09	1,42
3-я опытная	Lim	1,60...1,81		3,40...3,8		5,1...6,0	
	M±m	1,67±0,06	0,41	3,56±0,01	0,87	5,46±0,25	1,33
4-я опытная	Lim	1,71...1,90		4,10...4,4		5,1...5,8	
	M±m	1,8±0,05	0,43	4,35±0,08	1,04	5,53±0,20	1,33
5-я опытная	Lim	1,70...1,93		4,50...5,3		5,1...5,8	
	M±m	1,81±0,06	0,43	4,70±0,22	1,12	5,6±0,20	1,34

Таблица 5а. Абсолютная масса и удельный выход внутренних органов бычков  
Table 5a. Absolute mass and specific yield of internal organs of bulls

Группа	Показатель	Внутренние органы					
		Почки		Селезенка		Желудочно-кишечный тракт	
		кг	%	кг	%	кг	%
Контроль- ная	Lim	0,81...0,99		0,82...1,02		24,3...26,0	
	M±m	0,9±0,05	0,23	0,95±0,06	0,24	25,3±0,48	6,5
1-я опытная	Lim	0,91...0,98		0,87...0,89		25,3...26,7	
	M±m	0,95±0,02	0,23	0,88±0,01	0,21	25,8±0,39	6,2
2-я опытная	Lim	0,89...1,02		0,96...0,99		22,5...26,0	
	M±m	0,94±0,07	0,23	0,97±0,01	0,24	24,6±0,98	6
3-я опытная	Lim	0,84...1,02		0,91...0,95		20,5...25,0	
	M±m	0,94±0,05	0,23	0,93±0,01	0,23	23,0±1,26	5,6
4-я опытная	Lim	0,80...0,91		0,91...0,99		21,0...27,5	
	M±m	0,87±0,03	0,21	0,96±0,02	0,23	23,8±1,82	5,7
5-я опытная	Lim	0,80...0,97		0,81...0,92		23,5...26,7	
	M±m	0,87±0,05	0,21	0,87±0,03	0,21	25,1±0,90	6,0

При изучении химического состава мяса у помесных бычков и их чистопородных сверстников было выявлено влияние скрещивания на основные показатели химического состава мяса, содержание влаги, жира, белка, золы у особей разных генотипов (табл. 6). Установлено, что в пробе мяса у помесных бычков 1-й опытной группы содержание жира на 0,46%, белка на 0,40% и золы на 0,35% выше, чем у чистопородных кавказских бурых сверстников. Низкий уровень накопления жира (7,87%) имели помесные бычки 3-й опытной группы. При оценке мяса особое значение имеет соотношение полноценных и неполноценных белков. В состав мяса из неполноценных белков входят коллагены и эластины, которые питательной значимости не имеют. Они составляют основной компонент соединительной ткани и мясо становится жестким.

Таблица 6. Химический состав мяса бычков  
 Table 6. Chemical composition of bull meat

Группа	Содержание в туше, %				
	Влага	Сухое вещество	Жир	Белок	Зола
Контрольная	68,79±0,77	31,21±0,35	9,54±0,11	20,94±0,24	0,73±0,01
1-я опытная	67,0±0,75	33,0±0,37	9,98±0,11	22,0±0,25	1,03±0,01
2-я опытная	69,7±0,78	30,3±0,34	8,0±0,09	21,28±0,24	1,02±0,01
3-я опытная	70,69±0,79	29,31±0,33	7,87±0,09	20,73±0,23	0,71±0,01
4-я опытная	69,7±0,78	30,3±0,34	8,0±0,09	21,28±0,24	1,02±0,01
5-я опытная	70,57±0,79	29,43±0,33	8,67±0,10	20,06±0,23	0,7±0,01

**Выводы.** Результаты исследования показали, что по предубойной массе, выходу туши и жира-сырца, массе мяса высшей категории, массе внутренних органов (сердце, желудочно-кишечный тракт), мякоти на 1 кг костей и сухожилий и химическому составу мяса можно отдать предпочтение трехпородным (1/4КБ х 1/4Дж х 1/2Г) помесным бычкам. Нужно отметить, что по соотношению мякоти на 1 кг костей и сухожилий низкие показатели имели кавказские бурые чистопородные, и по тому же показателю и низким уровнем отложения жира отличались (5/8КБ х 1/8Дж х 1/4Г) помесные бычки. Кавказские бурые чистопородные бычки по выходу мяса второй категории превосходят трехпородных помесных бычков. Оценивая результаты исследований, можно сказать, что лучшим сочетанием кавказской бурой, джерсейской и голштинской породами является полученные помеси следующего генотипа: 1/4КБ х 1/4Дж х 1/2Г.

#### Список источников литературы

1. Ужахов М.И. Хозяйственно-биологические особенности улучшенного молочного скота разных генотипов в зоне центрального предкавказья: дисс. д-ра с.-х. наук. – Магас, 2020.
2. Хашегульгов Ш.Б., Гетоков О.О., Шалов М.А. Морфологический состав туш крупного рогатого скота и качество говядины в зависимости от их упитанности // Novainfo. Сельскохозяйственные науки. СС ВУ-НС. – 2017. – Т. 1. – № 76. – С. 105–109.
3. Сударев Н.П., Щукина Т.Н. Сравнительная оценка продуктивности бычков разных генотипов // Молочное и мясное скотоводство. – 2016. – № 5. – С. 23–27.
4. Смирнова М.Ф., Сафронов С.Л., Сулоев А.М. Откормочные и мясные качества бычков разных генотипов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С.109–115.
5. Collins, F. Small-scale U.S. Cow-calf operations. – USA: USDA, 2011. – 27 p.
6. Гилюян Г.А. Методы создания молочного типа кавказского бурого скота на основе скрещивания с джерсейской и голштинской породами: дисс. д-ра с.-х. наук: 06.02.01. – Ленинград, Пушкин, 1987. – 491 с.
7. Степанян Н.Г. Кавказская бурая порода крупного рогатого скота Армянской ССР. – Ереван, 1981. – 268 с.
8. Емельяненко А.В., Куц Е.Д., Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Мясная продуктивность бычков разных мясных пород // Животноводство и кормопроизводство (Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург). – 2020. – Т. 103. – № 2. – С. 68–74. doi: 10.33284/2658-3135-103-2-68.
9. ИСО 3100. 1-91 Мясо и мясо-продукция. Методы отбора проб.
10. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Fazz A.L., Randell R.J. Protein measurement with Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry. – 1951. – Vol. 193. – № 1. – P. 265–275.
11. Калашников А.П., Щеглов В.И., Клейменов Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. – М., 2003. – 456 с.

### References

1. Uzhahov, M.I. (2020), „Economic and biological features of improved dairy cattle of different genotypes in the zone of the central Caucasus”, Ph.D. Thesis, Magas, Russia.
2. Hashegul'gov, Sh.B., Getokov, O.O. and Shalov, M.A. (2017), “Morphological composition of cattle carcasses and beef quality depending on their fatness”, *Novainfo, Agricultural Sciences. CC BY-NC*, vol. 1, no. 76, pp. 105–109. (in Russian).
3. Sudarev, N.P. and Shchukina, T.N. (2016), “Comparative assessment of the productivity of bulls of different genotypes”, *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* [Dairy and meat cattle breeding], no. 5, pp. 23–27. (in Russian).
4. Smirnova, M.F., Safronov, S.L. and Suloev, A.M. (2016), “Fattening and meat qualities of bulls of different genotypes”, *Izvestiya of Saint-Peterburg State Agrarian University*, no. 42, pp. 109–115. (in Russian).
5. Collins, F. (2011), Small-scale U.S. Cow-calf operations, USA, USDA, p. 27.
6. Giloyan, G.A. (1987), “Methods of creating a dairy type of Caucasian brown cattle based on crossing with Jersey and Holstein breeds”, Ph.D. Thesis: 06.02.01, Leningrad, Pushkin, Russia.
7. Stepanyan, N.G. (1981), Kavkazskaya buraya poroda krupnogo rogatogo skota Armyanskoj SSR [Caucasian brown cattle breed of the Armenian SSR], Er., p. 268. (in Russian).
8. Emel'yanenko, A.V., Kushch, E.D., Kayumov, F.G. and Tret'yakova, R.F. (2020), “Meat productivity of bulls of different meat breeds”, *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* [Animal husbandry and feed production], vol. 103, no. 2, pp. 68–74, (in Russian). doi: 10.33284/2658-3135-103-2-68.
9. ISO 3100. 1-91 Myaso i myaso-produkciya. Metody otbora prob, [ISO 3100. 1-91 Meat and meat products. Sampling methods] (in Russian).
10. Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Fazz, A.L. and Randall, R.J. (1951), “Protein measurement with Folin phenol reagent”, *Journal of Biological Chemistry*, vol. 193, no 1, pp. 265–275.
11. Kalashnikov, A.P., Shcheglov, V.I. and Klejmenov, N.I. (2003), “Normy i raciony kormleniya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh” [Norms and rations of feeding farm animals], M., 456 p. (in Russian).

### Сведения об авторах

**Амерханов Харон Адиевич** – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры молочного и мясного скотоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.

**Мурадян Арам Мишаевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный аграрный университет Армении, докторант кафедры молочного и мясного скотоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.

**Соловьева Ольга Игнатьевна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры молочного и мясного скотоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.

### Information about the authors

**Kharon A. Amerkhanov** – Academic degree Doctor of Agricultural Sciences, professor of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

**Aram M. Muradyan** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Agrarian University of Armenia; Doctoral student of the Department of Dairy and Beef Cattle Breeding at the K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy.

**Olga I. Solovyova** – Doctor of Agricultural Sciences, professor of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

**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 08.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.09.2022 г.; принята к публикации 17.06.2022 г.*

*The article was submitted 08.08.2022; approved after reviewing 10.09.2022; accepted after publication 17.09.2022.*

Научная статья

УДК 636.4.087.8:615

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-83-93

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОДЕРЖАНИЯ НА РОСТ БЫЧКОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ

Юлия Васильевна Шошина

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе,  
д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; e-mail: yd1983@yandex.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-9801-8879>

**Реферат.** Нарушение привычного режима жизни, связанное с резкими изменениями обстановки, условий кормления и содержания, вызывает у животных стресс. Адаптация к постоянно меняющимся условиям среды, в том числе к проводимым ветеринарно-зоотехническим мероприятиям, отъем молодняка от матерей (отъемный стресс), влечет за собой значительные потери живой массы, увеличение затрат кормов и снижение эффективности производства говядины. В связи с этим целью наших исследований является изучение влияния отъемного стресса на рост и мясную продуктивность бычков в условиях привязного и беспривязного содержания. Материалом для исследований послужил научно-хозяйственный опыт по изучению роста, развития и мясной продуктивности бычков симментальской породы, который был проведен в ГНУ Тульский НИИСХ Россельхозакадемии с марта 2017 г. по сентябрь 2018 г. Для проведения опытов были отобраны и сформированы 3 группы бычков по 17 голов в каждой. Формирование групп проводили методом пар-аналогов с учетом происхождения, возраста и массы при рождении. Опыты проводили от рождения до 18-месячного возраста. В результате проведенных исследований установлено: отлучение бычков от матерей и как следствие этого длительное воздействие психоэмоционального раздражителя чрезмерной силы оказало существенное влияние на интенсивность роста бычков; влияние отъемного стресса выразилось в значительном снижении среднесуточных приростов подопытных животных; после отъема от матерей интенсивность роста бычков опытных групп снизилась, и величина абсолютной скорости их в последующие возрастные была значительно ниже таковой сверстников контрольной группы.

**Ключевые слова:** адаптация, стресс, живая масса, бычки, отъем молодняка, кортизол, стресс-реализующие гормоны

**Цитирование.** Шошина Ю.В. Влияние различных технологий содержания на рост бычков симментальской породы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(68). – С. 83–93 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-83-93.

INFLUENCE OF DIFFERENT HOUSING TECHNOLOGIES  
ON THE SIMMENTAL BULLS GROWTH

Yulia V. Shoshina

Sankt-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; e-mail: yd1983@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9801-8879>

**Abstract.** Violation of the habitual mode of life, associated with sudden changes in the environment, feeding and keeping conditions, causes stress in animals. Adaptation to constantly changing environmental conditions, including ongoing veterinary and zootechnical measures, weaning of young animals from their mothers (weaning stress), entails significant losses in live weight, increased feed costs and reduced beef production efficiency. In this regard, the purpose of our research is to study the effect of weaning stress on the growth and meat productivity of bulls in conditions of tethered and loose housing. The material for the research was a scientific and economic experiment on the study of the growth, development and meat productivity of Simmental bulls, which was carried out at the State Scientific Institution Tula Research Institute of Agriculture of the Russian Agricultural Academy from March 2017 to September 2018. For the experiments, three groups of bulls of 17 head each were selected and formed. The groups were formed by the paired-analysis method, taking into account the origin, age, and birth weight. The experiments were carried out from birth to 18 months of age. As a result of the studies, it was established: the weaning of bulls from mothers and, as a result of this, the long-term exposure to the psychoemotional stimulus of excessive force had a significant effect on the growth intensity of bulls; the influence of detachment stress was expressed in a significant decrease in the average daily growth of experimental animals; after weaning from mothers, the intensity of growth of the bulls of the experimental groups decreased, and the magnitude of the absolute speed of them in subsequent age groups was significantly lower than that of the peers of the control group.

**Keywords:** *adaptation, stress, live weight, steers, weaning, cortisol, stress-releasing hormones*

**Citation.** Shoshina, Yu.V. (2022), "Influence of different housing technologies on the Simmental bulls growth", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 83–93, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-83-93.

**Введение.** При выращивании бычков и телок по технологии мясного скотоводства неизбежно возникают стрессовые ситуации при отъеме молодняка от матерей (отъемный стресс), что влечет за собой значительные потери живой массы, увеличение затрат кормов и снижение эффективности производства говядины. Поэтому поиск решений и разработка различных методов, направленных на сокращение потерь продукции при воздействии технологических раздражителей, в том числе отъемного стресс-фактора, являются весьма актуальными.

**Целью исследований** является изучение влияния отъемного стресса на рост и мясную продуктивность симментальских бычков в условиях привязного и беспривязного содержания.

**Материал и методы исследований.** Научно-хозяйственный опыт по изучению роста, развития и мясной продуктивности бычков симментальской породы был проведен в ГНУ Тульский НИИСХ Россельхозакадемии с марта 2017 г. по сентябрь 2018 г. Для проведения опытов были отобраны и сформированы 3 группы бычков по 17 голов в каждой. Формирование групп проводили методом пар-аналогов с учетом происхождения, возраста и массы при рождении. Опыты проводили от рождения до 18-месячного возраста.

Содержание бычков 1-й (контрольной) группы стойловое: до 7 месяцев – групповое, затем на привязи. Телят 2-й и 3-й опытных групп от рождения до отъема в возрасте 7 месяцев выращивали по технологии мясного скотоводства. Содержание их до второй половины мая

было стойловое. В дальнейшем до октября коровы с бычками находились на пастбище. После отъема молодняка от матерей методикой опыта был предусмотрен перевод бычков 2-й группы на привязное содержание, а сверстников 3-й группы – на беспривязное. Уровень кормления подопытного молодняка всех групп с 7-месячного возраста был интенсивным и рассчитан для получения среднесуточных приростов 1000–1100 г и достижения живой массы в возрасте 18 месяцев 550–600 кг. Учет потребленного корма проводили ежедекадно путем взвешивания заданных кормов и их остатков. Для учета расхода молока в подсосный период у 6 бычков из 2-й и 3-й групп раз в месяц за два смежных дня определяли количество потребленного молока путем взвешивания их до и после кормления. У этих же животных учет потребления пастбищной травы проводили укосным методом при стравливании травостоя с применением электроизгороди. Общая питательность потребленных кормов в 1-й группе на одно животного составила 4608,7 ЭКЕ и 286,21 кг переваримого протеина, а во 2-й и 3-й группах – соответственно 4635,9; 4647,6 ЭКЕ и 311,14; 311,92 кг переваримого протеина. На одно ЭКЕ приходилось по группам 62,1; 67,1 и 67,1 г переваримого протеина.

Прирост живой массы бычков в течение опытного периода контролировали путем их ежемесячного взвешивания. На основании данных взвешивания определяли абсолютный прирост по группе, среднесуточный прирост, коэффициент роста, относительный прирост.

Для изучения особенностей формирования мясной продуктивности животных подопытных групп были проведены контрольные убои в различные возрастные периоды. В хозяйстве при рождении был убит один бычок. Последующие контрольные убои были проведены на Тульском мясокомбинате. В возрасте 6, 12 и 15 месяцев были убиты по три бычка из каждой группы, а в конце опытного периода – по пять. Определяли предубойную массу, массу парной и охлажденной туш, внутреннего жира. Туши бычков оценивали по степени отложения подкожного жира и морфологическому составу. В средней пробе мяса определяли содержание жира, белка, воды и золы.

**Результаты исследований.** Методикой опыта были предусмотрены интенсивное выращивание молодняка с раннего возраста и последующий откорм в условиях высокого уровня кормления. Это способствовало наиболее полной реализации генетического потенциала роста и наращивания массы животных. Интенсивное выращивание бычков 2-й и 3-й групп по технологии мясного скотоводства и высокий уровень кормления в последующие возрастные периоды обеспечили высокую интенсивность их роста. Так, при практически одинаковой живой массе при рождении разница в величине этого показателями между бычками 2-й и 3-й групп, с одной стороны, и сверстниками контрольной группы – с другой, в возрасте 3 месяца составила 22,2–24,8 кг, или 20,05–22,40 % ( $P<0,001$ ), а в возрасте 6 месяцев – 54,0–52,8 кг, или 26,92–26,32 % ( $P<0,001$ ) в пользу животных, выращиваемых по технологии мясного скотоводства (табл. 1). Однако следует отметить, что различия в живой массе между контрольными быками и сверстниками 2-й группы к 9- и 12-месячному возрасту снизились соответственно до 8,0 и 5,2 кг, между первыми и сверстниками 3-й группы – до 17,5 и 16,8 кг.

Таблица 1. Изменение живой массы ( $M \pm m$ ) молодняка с возрастом (кг)  
 Table 1. Change in live weight ( $M \pm m$ ) of young animals with age (kg)

Возраст, мес.	Г р у п п а		
	1-я	2-я	3-я
При рождении	38,2±0,2	38,4±0,4	38,3±0,3
3	110,7±1,7	132,9±2,1***	135,5±1,9***
6	199,8±2,5	254,6±2,8***	253,4±2,7***
9	318,3±4,2	335,8±4,9*	327,8±4,8
12	420,6±5,6	425,5±5,7	408,7±6,1
15	508,8±6,7	503,6±6,3	482,1±6,5**
18	588,7±8,1	578,9±6,8	553,6±7,5**

Примечание: здесь и далее \*  $P<0,05$ ; \*\*  $P<0,01$ ; \*\*\*  $P<0,001$ .

Из табл. 1 видно, что бычки контрольной группы в первые 6 месяцев жизни по величине живой массы существенно уступали сверстникам двух других групп, однако к 15-месячному возрасту они по величине этого показателя превосходили сверстников 2-й группы на 5,2 кг, а бычков 3-й группы – на 26,9 кг ( $P < 0,01$ ).

К концу опытного периода различия в живой массе между бычками контрольной группы, с одной стороны, и сверстниками 2-й и 3-й групп – с другой, возросли соответственно до 9,8 ( $P > 0,05$ ) и 35,1 кг ( $P < 0,01$ ).

При определении абсолютной скорости роста установлено, что бычки сравниваемых групп существенно различались по характеру и интенсивности роста живой массы (табл. 2). Так, среднесуточные приросты с возрастом бычков 1-й группы постепенно увеличивались и достигли пика в возрасте 9 месяцев. В последующие возрастные периоды величина этого показателя постепенно снижалась и в конце опытного периода составила 878 г.

Таблица 2. Абсолютная скорость роста бычков подопытных групп (г)  
Table 2. Absolute growth rate of bulls of experimental groups (g)

Возраст, мес.	Группа		
	1-я	2-я	3-я
0–3	798±19	1038±22***	1068±21***
4–6	987±23	1337±26***	1296±25**
7–9	1293±28	892±23**	817±24***
10–12	1124±31	986±37**	889 29***
13–15	969±35	858±36*	806±28*
16–18	878±38	825±35	787±34

Высокий уровень среднесуточных приростов бычков контрольной группы в возрастной период от 6 до 12 месяцев совпал по времени со становлением и созреванием их половой функции, а следовательно, с повышением концентрации андрогенов. Известно, что тестостерон и его производные обладают мощным анаболическим эффектом, кроме того, повышение их концентрации в пределах физиологической нормы способствует повышению соматотропной функции гипофиза [7]. Ростовой эффект андрогенов наиболее полно проявляется в пубертатный период, когда они избирательно стимулируют рост костной системы, особенно трубчатых костей и мускулатуры передней трети туловища. Однако основное влияние андрогенов на ростовые процессы опосредовано стимуляцией соматотропной функции гипофиза. В качестве подтверждения этого положения напомним, что у подростков в пубертатный период происходит скачкообразное увеличение линейных размеров тела, особенно высотных.

Снижение интенсивности роста бычков после 12-месячного возраста, по-видимому, связано с проявлением общебиологической закономерности – снижением обмена веществ и переориентацией синтетических процессов в сторону отложения жира. Кроме того, с возрастом у бычков значительно возрастает концентрация андрогенов в крови, что приводит к ингибированию соматотропной функции гипофиза и, как следствие этого, снижению интенсивности роста.

Животные опытных групп по сравнению со сверстниками контрольной группы отличались наибольшей интенсивностью роста в первые полгода жизни. Об этом свидетельствует тот факт, что бычки 2-й и 3-й групп в первые 3 месяца жизни превосходили по уровню среднесуточных приростов контрольных животных соответственно на 30,1 и 33,8% ( $P < 0,001$ ), а от 4 до 6 месяцев – на 35,5 и 31,3% ( $P < 0,001$ ). Относительно высокая абсолютная скорость роста бычков опытных групп объясняется достаточно высоким уровнем кормления и качественным составом их рационов. Следует отметить, что указанные животные в этот период потребляли значительное количество молока и пастбищной травы. Расход

молока с рождения до отъема у бычков 2-й и 3-й групп составил соответственно 1942 и 1984 кг, а пастбищной травы – 1574 и 1617 кг.

В возрастной период от 7 до 9 месяцев среднесуточные приросты бычков 2-й и 3-й групп по сравнению с таковыми за предыдущий период снизились соответственно на 49,8 и 30,4%. В этот возрастной период разница в величине указанного показателя между животными 2-й и 3-й групп, с одной стороны, и сверстниками контрольной группы – с другой, составила соответственно 31,0 ( $P < 0,01$ ) и 36,8% ( $P < 0,001$ ) в пользу бычков 1-й группы. На снижение интенсивности роста бычков опытных групп существенное влияние оказал отъем их от матерей. Так, в последующие возрастные периоды по мере адаптации бычков опытных групп к новым условиям кормления и содержания их среднесуточные приросты постепенно повышались, однако величина этого показателя не достигла уровня, который у них был до отъема от матерей. Интенсивность роста бычков опытных групп относительно таковой сверстников контрольной группы до конца опытного периода была значительно ниже. Так, животные контрольной группы в возрастные периоды от 10 до 12 месяцев и от 13 до 15 месяцев превосходили сверстников 2-й группы соответственно на 12,28 ( $P < 0,01$ ) и 11,3% ( $P < 0,05$ ), а 3-й группы – на 20,9 ( $P < 0,01$ ) и 16,8% ( $P < 0,05$ ). Среднесуточные приросты за период опыта составили по группам 1006; 988 и 942 г.

Определение интенсивности роста за определенные возрастные периоды не в полной мере отображает возрастные изменения роста и развития бычков. Более информативны данные, полученные при определении среднесуточных приростов за каждый месяц (рис. 1).

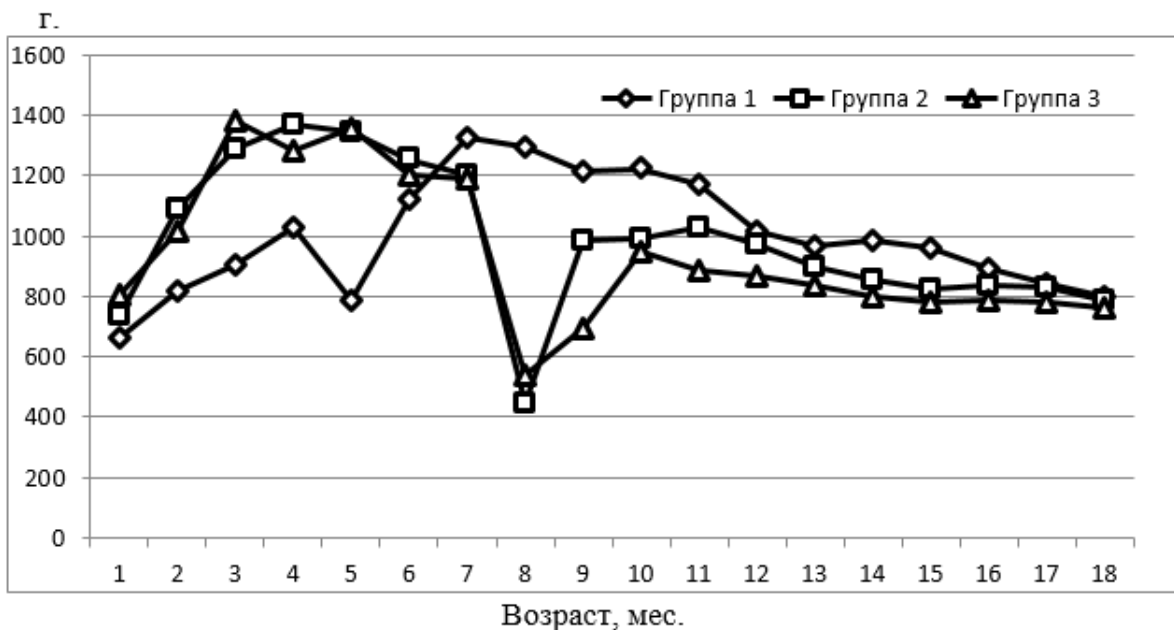


Рисунок 1. Динамика среднесуточных приростов подопытных бычков  
 Figure 1. Dynamics of average daily gains of experimental bulls

Из приведенных данных следует, что абсолютная скорость роста бычков 1-й группы в раннем постнатальном онтогенезе закономерно повышалась и, достигнув наибольшей величины (1325 г) в возрасте 7 месяцев, незначительно снизилась в возрасте 8 и 9 месяцев. В последующие 4 месяца среднесуточные приросты животных этой группы превышали 1000 г. Обращает на себя внимание спад абсолютной скорости роста у бычков указанной группы после 4-месячного возраста вследствие исключения из рационов бычков молочных кормов.

Бычки опытных групп отличались наибольшими среднесуточными приростами (1357–1371 г.) в возрастной период от 3 до 5 месяцев, когда они находились на пастбище с хорошим травостоем и потребляли достаточное количество молока. На величину абсолютной скорости роста живой массы в этот возрастной период значительное влияние оказывает также



становление рубцового пищеварения вследствие значительного увеличения массы и объема пищеварительных органов. Незначительное снижение среднесуточных приростов в возрасте 6 и 7 месяцев объясняется снижением удоев у коров и ухудшением травостоя пастбищ в осенний период.

Отъем бычков от матерей оказал существенное влияние на интенсивность их роста. Так, если уровень среднесуточных приростов бычков 2 и 3 групп в возрасте 7 месяцев составил соответственно 1024 и 1187 г, то величина этого показателя за первый месяц после отъема снизилась до 447 и 539 г. Потери в живой массе за месяц после отъема составили во 2-й и 3-й группах соответственно 23,91 и 20,62 кг. Абсолютная скорость роста бычков 2-й группы за 2-й и 3-й месяцы после отъема их от матерей составила соответственно 785 и 1026 г, а сверстников 3-й группы – 694 и 948 г. Из приведенных данных видно, что по интенсивности роста животные в условиях беспривязного содержания уступали, хотя и незначительно, сверстникам 2-й группы.

В связи с этим представляет интерес изучение характера и интенсивности роста бычков сравниваемых групп после отъема. Для этого из каждой группы были отобраны по пять бычков с массой, близкой к средней по группе. Отобранных бычков после отъема в течение 2 месяцев взвешивали через каждые 10 дней и определяли среднесуточные приросты (рис. 2).

Из приведенных данных видно, что абсолютная скорость роста бычков 2-й группы в 1, 2 и 3-ю декады после их отлучения от матерей снизилась соответственно до 778, 435 и 212 г, а сверстников 3-й группы – до 934, 663 и 113 г. Исходя из этих данных можно предположить, что относительно низкая интенсивность роста бычков 2-й группы в первые две декады после их отъема от матерей обусловлена наложением на стресс, связанный с отлучением их от матерей, стресса, связанного с гиподинамией при привязной системе содержания. В последующие 4 декады бычки 2-й группы, адаптировавшись к новым условиям кормления и содержания, превосходили сверстников 3-й группы по уровню среднесуточных приростов.

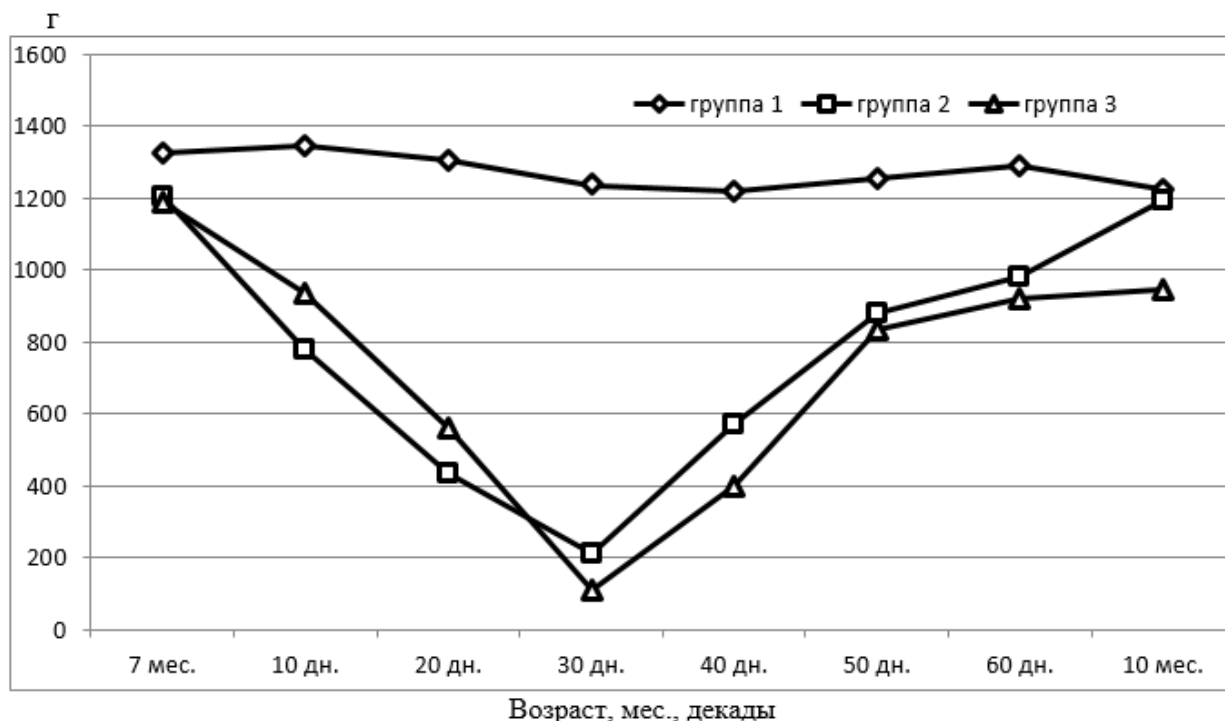


Рисунок 2. Среднесуточные приросты бычков подопытных групп  
Figure 2. Average daily gains of bulls of experimental groups

Потери в живой массе за второй месяц после отъема бычков от матерей составили во 2-й группе 12,99 кг, а в 3-й группе – 15,38 кг. Суммарные потери в живой массе бычков 2-й и 3-й групп за два месяца после их отлучения от матерей составили соответственно 36,90 и 36,00 кг.

Таким образом, значительное снижение интенсивности роста и потери в живой массе бычков, по-видимому, можно рассматривать как плату за адаптацию к новым условиям кормления и содержания.

Известно, что абсолютный прирост не может характеризовать интенсивность роста, поскольку в онтогенезе он не отражает суть связи между величиной растущей массы бычков и их приростом. Поэтому для более объективной оценки интенсивности роста бычков сравниваемых групп использовали коэффициент напряженности роста (рис. 3).

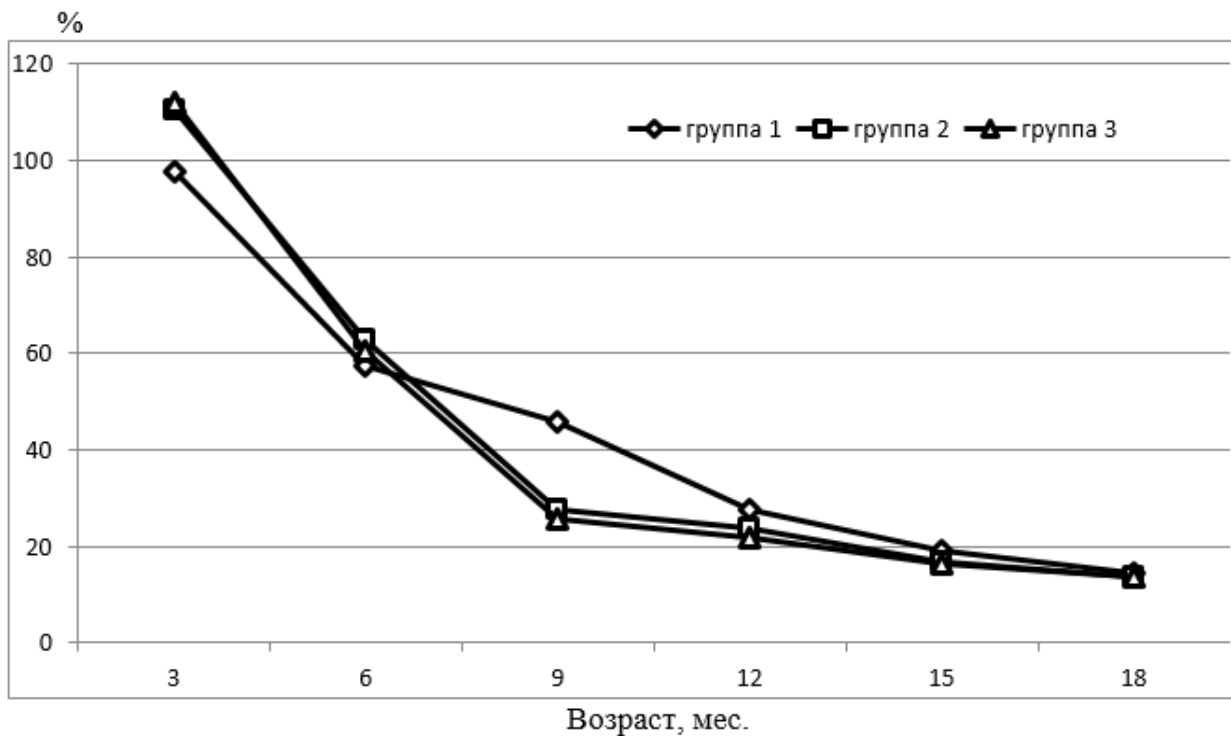


Рисунок 3. Относительный прирост бычков подопытных групп  
 Figure 3. Relative growth of bulls of experimental groups

Максимальная интенсивность роста животных всех групп установлена на ранних этапах постнатального онтогенеза. Напряженность роста бычков в возрасте 3 месяца составила по группам 97,79; 110,45 и 111,85%. В последующие возрастные периоды величина этого показателя постепенно снижалась и в конце опытного периода составила в среднем 13,81–14,43%. Интенсивность роста бычков 2-й и 3-й групп в первые 6 месяцев жизни была значительно выше таковой из сверстников контрольной группы, вследствие этого живая масса первых, по сравнению с массой при рождении, увеличилась в 6,63–6,62 раза, в то время как у бычков 1-й группы – в 5,25 раза. После отъема бычков от матерей напряженность роста бычков 2-й и 3-й групп в возрасте 9 месяцев снизилась соответственно до 27,51 и 25,60% против 45,97% в контрольной группе. Коэффициенты роста бычков сравниваемых групп в возрасте 9 и 12 месяцев практически сравнялись. Поскольку в последующие возрастные периоды интенсивность роста бычков контрольной группы была выше, коэффициенты их роста в конце опытного периода составили 15,41 против 14,95 и 14,45 соответственно у сверстников 2-й и 3-й групп.

Межгрупповые различия по величине относительного прироста в годовалом возрасте и в последующие возрастные периоды были незначительны, что свидетельствует о том, что

бычки опытных групп адаптировались к новым условиям кормления и содержания. Бычки 3-й группы с 9-месячного возраста до конца опытного периода отличались наименьшей напряженностью роста. Это объясняется тем, что по мере полового созревания в их крови возрастало содержание андрогенов, и в условиях беспривязного содержания они становились все более спокойными.

Значительное снижение интенсивности роста и потери в живой массе бычков после их отъема, по-видимому, обусловлены воздействием комплекса стресс-факторов:

– психический стресс, вызванный отлучением бычков от матерей; известно, что сила воздействия этого стресс-фактора намного превосходит действие температурных, травматических и других стресс-факторов;

– технологический стресс-фактор, связанный с переводом животных с круглосуточного пастбищного содержания на привязную систему, что влечет за собой гиподинамию;

– смена рациона и, как следствие этого, длительная перестройка не только пищеварительной системы животных в связи с переходом с молочно-травяного кормления в пастбищный период на концентратно-силосно-сенной тип кормления в стойловый период, но и сообщества микроорганизмов желудочно-кишечного тракта; известно, что у жвачных животных 60–70% переваримого органического вещества корма усваивается за счет микробной деятельности.

Каждый из перечисленных стресс-факторов способен привести к возбуждению нервных центров и, как следствие этого, к повышению содержания в крови стресс-реализующих гормонов [15; 16; 17; 19]. Нарушение гомеостаза, вызванное факторами внешней или внутренней среды, активизирует системы, ответственные за адаптацию.

Таким образом, после отлучения бычков от матерей в их организме происходит столкновение двух явлений противоположной направленности.

С одной стороны, это стремление использовать молодыми животными энергетические и пластические субстраты, поступающие с кормом, для обеспечения интенсивного роста и развития органов и основных тканей и в соответствии с основным законом жизни быстрее достичь конечного стационарного состояния.

С другой стороны, при действии раздражителя чрезмерной силы в головном мозге формируется временная функциональная доминирующая система [11], подчиняющая себе исполнительные органы и определяющая характер поведенческих реакций животных. На первом этапе развития стресс-реакции функционирование доминирующей системы связано с мобилизацией энергетических и структурных ресурсов организма, вследствие чего в крови резко повышается содержание глюкозы, аминокислот, липидов, нуклеотидов. Этим обеспечивается доступность для органов и тканей мобилизованных субстратов. Однако сущность адаптации заключается не только в мобилизации энергетических и структурных ресурсов организма, но и в их перераспределении.

На втором этапе мобилизованные энергетические и структурные резервы из систем организма, не участвующих в реализации адаптивных реакций к данному стресс-фактору, посредством избирательного расширения кровеносных сосудов направляются в стресс-реализующие системы, в которых за счет реализации программы доминирующей системы происходит синтез нуклеиновых кислот и белков [3; 7]. Инструментом для такого векторного перемещения и сосредоточения ресурсов организма в стресс-реализующей системе для реализации ею адаптации к новым условиям окружающей среды является эндокринная система. Выше отмечалось: для животноводства важное значение приобретает тот факт, что при перераспределении мобилизованных энергетических и структурных ресурсов в стресс-реализующие системы организма угнетаются функции, не связанные непосредственно с обеспечением адаптации животных (рост, аппетит, половая функция и др.), что приводит к значительному снижению прироста живой массы, молочной продуктивности, половой функции [6; 8; 10; 17; 19]. Так, например, кортизол и кортикотропин на уровне гипоталамуса и гипофиза способны тормозить активность полового центра [7]. У женщин длительные отрицательные эмоции нередко приводят к прекращению менструального цикла, а у мужчин

к снижению сексуальной потенции [1; 2; 6; 8]. Это биологически целесообразно, поскольку больное животное не должно приносить потомство.

Значительное снижение интенсивности роста и потери в живой массе бычков 2-й и 3-й групп, по-видимому, связаны с длительным воздействием психоэмоционального фактора чрезмерной силы, возникшего после отлучения животных от матерей, а также с ограничением двигательной их активности. В таких ситуациях возможен переход стресса из стадии адаптации в стадию повреждения за счет значительного повышения в крови содержания стресс-реализующих гормонов (катехоламинов, глюкокортикоидов и др.). Высокая концентрация их в крови животных при отсутствии ограничительных систем приводит к мобилизации энергетических и пластических ресурсов и их утрате, потере живой массы, истощению.

По мнению ряда исследователей [3; 7], важным механизмом адаптации к стресс-факторам является активация центральных регуляторных механизмов, которые при действии раздражителей чрезмерной силы способны тормозить функции регуляторов стресс-реализующих гормонов (катехоламинов, глюкокортикоидов). Кроме этого, определенные центры в головном мозге синтезируют и выделяют медиаторы: ГАМК (гамма-аминомасляная кислота), дофамин, серотонин, опиоиды и другие, которые, взаимодействуя со стресс-реализующими системами, ограничивают их активность и защищают организм от повреждающих их действий [9; 12; 13; 14; 18]. Эти механизмы, ограничивающие стресс-реализующие системы, обозначены как стресс-лимитирующие системы [3].

Следует отметить, что сами стресс-реализующие гормоны при существенном повышении концентрации их в крови тормозят высвобождение факторов, потенцирующих выброс катехоламинов и глюкокортикоидов. Так, высокая концентрация основного стресс-реализующего гормона кортизола по принципу отрицательной обратной связи (feed – back) на уровне гипофиза тормозит секрецию АКТГ, вследствие чего содержание кортизола должно снизиться до нормы. Для каждого гормона существует свой рабочий фактор, который при повышении его концентрации в крови вызывает подавление активности регулятора.

#### **Выводы**

1. Отлучение бычков от матерей и как следствие этого длительное воздействие психоэмоционального раздражителя чрезмерной силы оказало существенное влияние на интенсивность роста бычков.

2. Влияние отъемного стресса выразилось в снижении интенсивности роста бычков. Так, среднесуточные приросты бычков 2-й группы за первый и второй месяцы после их отъема от матерей, по сравнению с таковыми за седьмой месяц жизни, снизились соответственно в 2,69 и 2,20 раза, а бычков 3-й группы – в 2,20 и 1,71 раза. Потери в живой массе за первый и второй месяцы после отъема у бычков 2 группы составили соответственно 23,91 и 12,99 кг, а у сверстников 3-й группы – 20,62 и 15,28 кг.

3. После отъема от матерей интенсивность роста бычков опытных групп снизилась и величина абсолютной скорости их в последующие возрастные была значительно ниже таковой сверстников контрольной группы.

#### **Список источников литературы**

1. Булавенко О.В., Левкина Е.Л. Психологические аспекты в возникновении стресс-индуцированного бесплодия у женщин // *Biomedical and biosocial anthropology*. – 2011. – № 17. – С. 210–214.
2. Зеленина Н.В., Долгов Г.В., Ильин А.Б. Нейроэндокринные нарушения менструального цикла // *Акушерство и женские болезни*. – 2002. – Вып. 1. – С. 87–94.
3. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина – 1988. – 256 с.
4. Прохоров И.П. Формирование мясной продуктивности у молодняка крупного рогатого скота при промышленном скрещивании: автореф. дисс. д-ра с.-х. наук. – М., 2013.

5. Прохоров И.П., Лукьянов В.Н., Пикуль А.Н. Рост, развитие и мясная продуктивность бычков симментальской породы и ее помесей с герефордской и шаролезской // Известия ТСХА. – 2014. – Вып. 4. – С. 74–89.
6. Резников А.Г. Эндокринологические аспекты стресса // Международный эндокринологический журнал. – 2007. – № 4. – С. 11–17.
7. Розен В.Б. Основы эндокринологии. – М.: Высшая школа. – 1983. – 336 с.
8. Татарчук Т.Ф. Стресс и репродуктивная функция женщины // Международный эндокринологический журнал. – 2006. – № 3. – С. 2–9.
9. Тигранян Р.А., Вакулина О.П. Содержание опиоидных пептидов в тканях крыс при длительном ограничении двигательной активности. – 1984. – № 6. – С.83–85.
10. Тихонов С.Л. Влияние транспортного стресса бычков на качество мяса // Молочное и мясное скотоводство. – 2008. – № 4. – С. 46–48.
11. Ухтомский А.А. Доминанта. – М.-Л.: Наука. – 1966. – 273 с.
12. Dirksen R., Wood G., Nijhuis G. Mechanism of naloxone therapy in the treatment of shock: a hypothesis // Lancet. – 1981. – Vol. 1. – № 820. – P. 607–608.
13. Joseph M., Kennet G. Brain tryptophan and 5 – NT function in stress // Brit. J. Pharmacol. – 1981. – Vol. 73. – p. 267.
14. Lewis J., Tordoff M., Sherman J. et al. Adrenal – medullary enkephalinlike peptides may mediate opioid stress analgesia // Science. – 1982. – Vol. 107. – P. 557–559.
15. Most E., Palme R. Hormones as indicators of stress // Domestik animals endocrinology. – 2002. – Vol. 23. – № 1. – P. 67–74.
16. Reims H.M., Sevre K, Fossum E. et al. Adrenaline during mental stress in relation to fitness, metabolic risk factors and cardiovascular responses in young men // Blood Press. – 2005. – Vol. 14. – № 4. – P. 217–226.
17. Turner A.I., Canny B.J., Hobbs R.J. et al. Influence of sex and gonadal status of sheep on cortisol secretion in response to ACTH and on cortisol and response to stress: importance of different stressors // J. Endocrinol. – 2002. – vol. 173. – P. 113–122.
18. Van Loon G., Mousa S., Kvetnansky R. Adaptative mechanisms in the metenkephalin and catecholamine responses to repeated stress // Clin. Res. – 1985. – Vol. 33. – P. A537–A537.
19. Wirth M.M. et al. Relationship between salivary pituitary cortisol and progesterone levels in humans. – 2006. – Aug. – P. 97–102.

### References

1. Bulavenko, O.V. and Levkina, E.L. (2011), “Psychological aspects in the occurrence of stress-induced infertility in women”, *Biomedical and biosocial anthropology*, no. 17, pp. 210–2014. (in Russian).
2. Zelenina, N.V., Dolgov, G.V. and Ilyin, A.B. (2002), “Neuroendocrine disorders of the menstrual cycle”, *Obstetrics and women's diseases*, issue 1, pp. 87–94. (in Russian).
3. Meerson, F.Z., Pshennikova, M.G. (1988), Adaptation to stressful situations and physical exertion, *Medicine*, 256 p. (in Russian).
4. Prokhorov, I.P. (2003), Formation of meat productivity in young cattle at industrial crossing, Autoref. Dissertation of Doctor of Agricultural Sciences. (in Russian).
5. Prokhorov, I.P., Lukyanov, V.N. and Pikul, A.N. (2014), “Growth, development and meat productivity of bulls of the Simmental breed and its crossbreeds with Hereford and Charolaise”, *Izvestiya TSKHA*, issue 4, pp. 74–89. (in Russian).
6. Reznikov, A.G. (2007), “Endocrinological aspects of stress”, *International Journal of Endocrinology*, no. 4, pp. 11–17. (in Russian).
7. Rosen, V.B. (1983), Fundamentals of endocrinology, Higher School, 336 p. (in Russian)
8. Tatarchuk, T.F. (2006), “Stress and a woman's reproductive function”, *International Journal of Endocrinology*, no 3, pp. 2–9. (in Russian).

9. Tigranyan, R.A. and Vakulina, O.P. (1984), "The content of opioid peptides in rat tissues with prolonged restriction of motor activity", *Kosm. biol.*, no. 6, pp. 83–85. (in Russian).
10. Tikhonov, S.L. (2008), "The influence of transport stress of bulls on the quality of meat", *Dairy and meat cattle breeding*, no. 4, pp. 46–48. (in Russian).
11. Ukhtomsky, A.A. (1966), Dominant, M. – L., Science, 273 p. (in Russian).
12. Dirksen, R., Wood, G. and Nijhuis, G. (1981), "Mechanism of naloxone therapy in the treatment of shock: a hypothesis", *Lancet*, 1981, vol. 1, no 820, pp. 607–608.
13. Joseph, M. and Kennet, G., (1981), "Brain tryptophan and 5 – NT function in stress", *Brit. J. Pharmacol*, vol. 73, pp. 267.
14. Lewis, J., Tordoff, M., Sherman, J. et al. (1982), "Adrenal – medullary enkephalin-like peptides may mediate opioid stress analgesia", *Science*, vol. 107, pp. 557–559.
15. Most, E. and Palme, R. (2002), "Hormones as indicators of stress", *Domestic animals endocrinology*, vol. 23, no 1, pp. 67–74.
16. Reims. H.M., Sevre. K, Fossum, E. et al. (2005), "Adrenaline during mental stress in relation to fitness, metabolic risk factors and cardiovascular responses in young men", *Blood Press*, vol. 14, no 4, pp. 217–226.
17. Turner A.I., Canny B.J., Hobbs R.J., et al. (2002), "Influence of sex and gonadal status of sheep on cortisol secretion in response to ACTH and on cortisol and response to stress: importance of different stressors", *J. Endocrinol*, vol. 173, pp. 113–122.
18. Van Loon G., Mousa S. and Kvetnansky R. (1985), "Adaptative mechanisms in the metenkephalin and catecholamine responses to repeated stress", *Clin. Res.*, vol. 33, pp. A537–A537.
19. Wirth M.M., Meier, E.A., Fredrikson, B.L, et al. (2006), "Relationship between salivary pituitary cortisol and progesterone levels in humans", *Biol. Psychol.*, Aug., pp. 97–102.

#### Сведения об авторах

**Шошина Юлия Васильевна** – старший преподаватель кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2851-6157

#### Information about the authors

**Yulia V. Shoshina** – Senior Lecturer of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P.P. Tsarenko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University" spin-code: 2851-6157.

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

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

*Статья поступила в редакцию 12.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 20.09.2022 г.; принята к публикации 25.09.2022 г.*  
*The article was submitted 12.08.2022; approved after reviewing 20.09.2022; accepted after publication 25.09.2022.*

Научная статья

УДК 575.174.015.3:636.2.034

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-94-102

## ИММУНОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА АО «КИЗЛЯРАГРОКОМПЛЕКС»

Ирина Вадимовна Мусаева<sup>1</sup>, Етар Магомедовна Алиева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, ул. Магомета Гаджиева, 180, г. Махачкала, Республика Дагестан, 367032, Россия; dgsha-bio@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0629-5965>

<sup>2</sup> Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, ул. Абдуразака Шахбанова, д. 30, мкр. Научный городок, г. Махачкала, Республика Дагестан, 367014, Россия; 05etar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7437-9231>

**Реферат.** Генетический полиморфизм животных, в том числе по антигенным факторам групп крови, ввиду неизменяемости в течение жизни, кодоминантному наследованию, легкости определения генотипов по фенотипам, возможности использования при оценке степени генетического разнообразия и родства пород, представляет определенный научный и практический интерес. Учитывая, что каждая популяция внутри даже одной породы характеризуется своим аллелофондом, исследования в данном направлении актуальны для различных регионов и даже отдельных хозяйств. В статье приводятся результаты изучения иммуногенетического полиморфизма групп крови популяции скота в условиях АО «Кизлярагрокомплекс» Республики Дагестан. Было протестировано 80 первотелок, в том числе 20 голов красной степной породы и 60 голов помесей красной степной породы с голштинской красно-пестрой породой. В выборке с различной частотой встречаемости обнаружено 43 антигена: в ЕАА-системе – 2, в ЕАВ-системе – 25, ЕАС – 7, ЕАL – 1, ЕАС-системе – 7, в системе ЕАТ' – 1 антиген. Выявленные антигены систем групп крови у исследованного поголовья образуют 61 аллельный вариант с частотой встречаемости 1,25–45,0%. Коэффициент генетического сходства между группами чистопородных и помесных животных превышает 90%. Для выяснения влияния конкретного аллеля на показатели молочной продуктивности исследуемого поголовья определены величины удоя за 305 дней первой лактации, содержания жира и белка в молоке у коров, имеющих и не имеющих данный аллель (носителей и не носителей аллеля). Установлено, что в изученной популяции по удою за первую лактацию выгодно отличаются животные – носители аллелей А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> и С<sub>1</sub>, по содержанию жира в молоке – носители аллелей С" и L, по содержанию белка – носители аллеля С<sub>1</sub>.

**Ключевые слова:** группы крови, антигены эритроцитов, аллели групп крови, частота встречаемости, генетическое сходство, носители аллелей, не носители аллелей, молочная продуктивность

**Цитирование.** Иммуногенетический полиморфизм крови крупного рогатого скота АО «Кизлярагрокомплекс» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022 – № (3) 68. – С. 94–102. doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-94-102.

**IMMUNOGENETIC POLYMORPHISM OF CATTLE BLOOD OF JOINT STOCK COMPANY «KIZLYARGROCOMPLEX»**

**Irina V. Musayeva<sup>1</sup>, Etar M. Aliyeva<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 180 Magomet Gadjiyev street, Makhachkala, Dagestan Republic, 367032, Russia; dgsha-bio@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0629-5965>

<sup>2</sup> Federal Agrarian Scientific Center of Dagestan Republic, 30 Abdurazak Shakhbanov street, estate Scientific Town, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367014, Russia; 05etar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7437-9231>

**Abstract.** Genetic polymorphism of animals including by antigenic factors of blood groups, due to immutability during life, codominant inheritance, easy of determining genotypes by phenotypes, the possibility of use in assessing the degree of genetic diversity and kinship of breeds has certain scientific and practical interest. Each population within even one breed is characterized by its own allelofond, research in this direction is relevant for different regions and individual farms. The article presents the results of study of immunogenic polymorphism of livestock blood groups in the conditions of JSC "Kizlyargrocomplex" of the Republic of Dagestan. There were tested 80 heifers, including 20 heads of red steppe breed and 60 heads of crossbreeds of red steppe breed with the Holstein red-mottled breed. There were detected 43 antigens in the sample with different frequency of occurrence: in the EAA-system – 2, in the EAB-system – 25, EAC – 7, EAL – 1, EAS-system – 7, in the EAT' -1 antigen system. The identified antigens of blood group systems in the studied livestock form 61 allelic variants with a frequency of occurrence of 1.25-45.0%. The coefficient of genetic similarity between groups of purebred and crossbred animals exceeds 90%. To determine the effect of particular allele on the indicators of milk productivity of the studied livestock, the values of milk yield before 305 days of the first lactation, the fat and protein content in milk in cows with and without this allele (carriers and non-carriers of the allele) were determined. It was found that in the studied population, the animals carrying the A1A2 and C1 alleles differ favorably in milk yield for the first lactation, the carriers of the C" and L alleles in terms of fat content in milk, and the carriers of the C1 allele in terms of protein content.

**Keywords:** *blood groups, erythrocyte antigens, blood group alleles, frequency of occurrence, genetic similarity, carriers of alleles, non-carriers of alleles, milk productivity*

**Citation.** Musayeva, I.V. and Aliyeva, E.M. (2022), "Immunogenetic polymorphism of cattle blood of joint stock company «Kizlyargrocomplex»", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 94–102, (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-94-102.

**Введение.** Генетическому полиморфизму, одному из направлений фундаментальной генетики, уделяется все большее внимание в современных исследованиях в области животноводства, как важному инструменту прикладной науки [1]. Неизменяемость в течение жизни, возможность идентификации, кодоминантный характер наследования, легкость определения генотипов по фенотипам, возможность использования при оценке степени генетического разнообразия и родства пород – это некоторые составляющие интереса к полиморфным системам. Одной из полиморфных систем являются группы крови животных, изучение которых позволяет проследить процессы микроэволюции, контролировать достоверность происхождения животных [2–6]. Практически по всем известным группам крови определено место локализации в хромосомах генов, их обуславливающих. Дифференцировать и идентифицировать каждое животное в пределах популяции также возможно по типу крови [7–9].



Ряд авторов отмечают ассоциативные связи иммуногенетического полиморфизма с продуктивностью, воспроизводительной способностью, иммунным ответом организма на меняющиеся условия среды [10–12]. Следует отметить и противоречивость подобных исследований, проводимых в различных популяциях, что несколько не снижает их значимость и объясняется лучшими адаптационными возможностями животных со средним уровнем продуктивности в неидеальных кормовых условиях [10]. При этом каждая порода животных, каждая популяция в пределах одной породы характеризуются определенной генофондной структурой, отличной от других популяций.

В Республике Дагестан тестирование животных по антигенному составу групп крови и анализ ассоциаций его с селекционными признаками слабо практикуются, чем и продиктовано проведенное нами изучение иммуногенетического полиморфизма части популяции крупного рогатого скота АО «Кизлярагрокомплекс», а также сопряженности аллелей групп крови с отдельными продуктивными показателями.

**Цель исследования** — изучить иммуногенетический полиморфизм групп крови и ассоциации аллелей с уровнем молочной продуктивности скота, разводимого в условиях равнинной зоны Республики Дагестан.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Выборка составлена по принципу случайного отбора. Протестировано 80 первотелок: 20 голов красной степной породы и 60 помесей красной степной с голштинской красно-пестрой породой. Образцы крови, взятые из яремной вены коров в пробирки с антикоагулянтом, были доставлены с соблюдением требований их транспортировки в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста. Использовали 69 моноспецифических сывороток 12 генетических систем групп крови.

Генетическую структуру популяции (частоту антигенных факторов) вычисляли по формуле Л.А. Животовского:  $p_i = \frac{n_i}{N}$ , где  $p_i$  — частота антигена в популяции;  $n_i$  — число животных — носителей данного антигена;  $N$  — общее число животных в популяции. Коэффициент генетического сходства (дистанции) между красной степной породой и ее помесями с голштинской красной пестрой определяли по формуле Майяла–Линдстрема:  $r = \frac{\sum(x_i \cdot y_i)}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}}$ , где  $r$  — коэффициент антигенного сходства;  $x_i$  и  $y_i$  — частоты одних и тех же аллелей (антигенов) у сопоставляемых популяций животных.

Для выяснения влияния конкретного аллеля на показатели молочной продуктивности исследуемого поголовья определены средние величины удоя за 305 дней первой лактации, содержания жира и белка в молоке у коров, имеющих и не имеющих данный аллель (носителей и не носителей аллеля). Для определения количества надоенного молока использовали ежедневные сведения в программе ИАС «Селэкс», оценку качественных показателей проводили в лаборатории АО «Кизлярагрокомплекс» по требованиям ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молочносодержащие продукты». Биометрическую обработку проводили с использованием программы STATISTICA, версия 10.

**Результаты исследования.** Изучаемое поголовье было протестировано на наличие 69 антигенов 12 систем групп крови: **EAA** — A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> и Z'; **EAB** — B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, K, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, Q, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, A'<sub>1</sub>, A'<sub>2</sub>, B', D', E'<sub>1</sub>, E'<sub>2</sub>, E'<sub>3</sub>, F<sub>2</sub>, G', I', J'<sub>1</sub>, J'<sub>2</sub>, K', O', P'<sub>1</sub>, P'<sub>2</sub>, Q, Y', B'' и G''; **EAC** — C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, E, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, W, C', X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, C'' и L'; **EAF** — F и V; **EAJ** — J; **EAL** — L; **EAM** — M; **EAS** — S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, H', U<sub>1</sub>, U', H'' и U''; **EAZ** — Z; **EAT'** — T'; **EAR** — R' и **EAN'** системе — антиген N'. В выборке не обнаружены антигены локусов таких групп крови, как F, J, M, Z, R и N'. В шести выявленных системах обнаружено 43 антигена: в EAA-системе — 2, в EAB-системе — 25, EAC — 7, EAL — 1, EAS-системе — 7, в системе EAT' — 1 антиген.

Эритроцитарные антигены встречались с частотой 3–70%, распределение их с градацией частот 1–20%, 21–40%, 41% и более представлено в таблице. Как и ожидалось, большее генетическое разнообразие по числу обнаруженных антигенов наблюдается у помесных животных: из 43 выявленных антигенов в группе помесей установлено наличие 38

против 30 антигенов у чистопородных животных. О большей гомозиготности группы чистопородных животных свидетельствует и значительное превосходство ее по количеству часто встречающихся антигенов: A<sub>2</sub>, G', O', C<sub>1</sub>, H' и A<sub>2</sub>.

Таблица. Частота встречаемости антигенов групп крови  
 Table. Frequency of occurrence of blood group antigens

Группы животных	Система групп крови	Частота встречаемости антигенов, %		
		1–20	21–40	41 и более
Красная степная порода	ЕАА	A <sub>1</sub>	-	A <sub>2</sub>
	ЕАВ	K, I <sub>2</sub> , O <sub>1</sub> , Q, Y <sub>2</sub> , D', E' <sub>3</sub> , J' <sub>1</sub> , Y'	G <sub>2</sub> , P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , A' <sub>1</sub>	G', O'
	ЕАС	R <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , C''	W	C <sub>1</sub>
	ЕАL	L	-	-
	ЕАС	S <sub>2</sub> , U <sub>1</sub> , U', H'', U''	-	H'
	ЕАТ'	T'	-	-
Помеси красная степная х голштинская красно-пестрая	ЕАА	A <sub>1</sub>	-	A <sub>2</sub>
	ЕАВ	B <sub>2</sub> , I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , O <sub>1</sub> , O <sub>2</sub> , P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , Q, T <sub>1</sub> , Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> , B', D', G', J' <sub>1</sub> , K', P' <sub>1</sub> , Y', B'', G''	G <sub>2</sub> , K, A' <sub>1</sub> , O'	-
	ЕАС	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , W, X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , C''	C <sub>1</sub>	-
	ЕАL	-	L	-
	ЕАС	S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub>	-	H'
	ЕАТ'	T'	-	-

Система ЕАА характеризуется высокой частотой встречаемости антигена A<sub>2</sub> в обеих группах: 60% у красностепной породы и 53,3% у ее помесей с голштинской красно-пестрой породой. Частота встречаемости антигена A<sub>1</sub> составляет 10% и 20% по группам соответственно. Антиген Z' не обнаружен.

В ЕАВ-системе с частотой, превышающей 40%, встречаются антигены G' и O' (по 50%) у чистопородных животных. Антигены I<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, B', K', P'<sub>1</sub>, B'', G'' обнаружены у единичных особей в группе помесей с частотой 3,3–13,3%, у животных красной степной породы не выявлены. Антиген E'<sub>3</sub>, встречающийся у 10% чистопородных животных, не выявлен в группе помесных коров. Антигены B<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub>, T<sub>2</sub>, A'<sub>2</sub>, E'<sub>1</sub>, E'<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, I', J'<sub>2</sub>, P'<sub>2</sub> и Q в выборке не обнаружены.

В системе крови ЕАС с наибольшей частотой встречается антиген C<sub>1</sub>: 70% у чистопородных и 23,3% у помесных животных. Частота встречаемости антигена W в группе чистопородных коров составляет 40%, гораздо ниже встречаемость его в группе помесей – только 18,3%. Антигены R<sub>2</sub> и X<sub>1</sub> не выявлены у чистопородных животных, в группе помесных коров они редко встречаются – с частотой 3,3% и 13,3%, соответственно. В выборочной совокупности не выявлено наличие антигенов C<sub>2</sub>, E, C' и L' данной системы.

L-антиген ЕАL-системы обнаружен в обеих группах с частотой 20,0% и 18,3%. В ЕАС-системе S<sub>1</sub> антиген у животных красной степной породы не выявлен, у помесей частота его встречаемости составила 10%. Антигены U<sub>1</sub>, U', H'' и U'', наоборот, с частотой 5,0%

встречаются у чистопородных животных и не обнаружены вовсе у помесного скота. По EAT'-системе значительных различий не наблюдается, частота встречаемости антигена T' составляет 10–13,3%.

Генетический профиль антигенов групп крови по изученным группам представлен на рис.1.

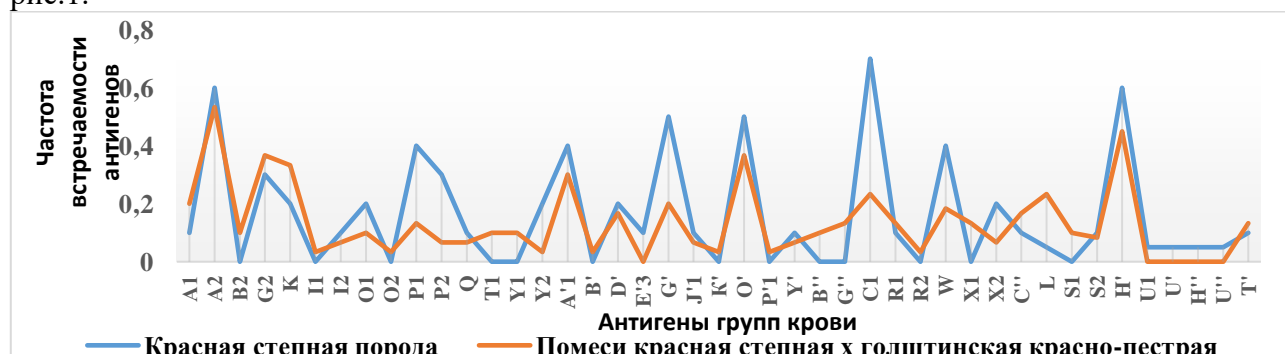


Рисунок 1. Генетический профиль антигенов групп крови популяции крупного рогатого скота АО «Кизлярагрокомплекс»

Figure 1. Genetic profile of blood group antigens of the cattle population of JSC "Kizlyargrocomplex"

Выявленные антигены систем групп крови у исследованного поголовья образуют 61 аллельный вариант с частотой встречаемости 1,25–45,0%.

В системе EAA встречаются аллели A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> и A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, причем два последних выявлены как у чистопородных животных (частота встречаемости 55,0% и 10,0% соответственно), так и у помесей (с частотой 38,33% и 13,33%), аллель A<sub>1</sub> – только у помесных животных с частотой 6,67%.

В системе EAB обнаружено 35 аллелей, при этом они не повторялись в группах, т. е. аллели, встречаемые в группе красной степной породы, отсутствовали у помесных животных. В группе чистопородных животных выявлено 10 аллелей: G<sub>2</sub>KI<sub>2</sub>Q, G<sub>2</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>D'E'<sub>3</sub>G'T<sub>1</sub>O', G<sub>2</sub>P<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>G', KP<sub>1</sub>G', O<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>A'<sub>1</sub>O', O<sub>1</sub>D', P<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>A'<sub>1</sub>G'O'Y', A<sub>1</sub>, A'<sub>1</sub>G'O' и O'. У помесей, соответственно, 25 аллелей данной системы: B<sub>2</sub>KP<sub>1</sub>A'<sub>1</sub>D'O'G', B<sub>2</sub>O<sub>1</sub>O', B<sub>2</sub>G', G<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>K, G<sub>2</sub>KI<sub>1</sub>I<sub>2</sub>QO', G<sub>2</sub>KI<sub>2</sub>O<sub>2</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>T<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>A'<sub>1</sub>D'G'T<sub>1</sub>K'Y'B', G<sub>2</sub>KA'<sub>1</sub>O', G<sub>2</sub>KA'<sub>1</sub>O'G", G<sub>2</sub>KO', G<sub>2</sub>G', O'G", G<sub>2</sub>O', G<sub>2</sub>O'G", K, KO<sub>1</sub>P<sub>1</sub>QT<sub>1</sub>A'<sub>1</sub>D'T<sub>1</sub>O'P<sub>1</sub>B", O<sub>1</sub>A'<sub>1</sub>G', P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>A'<sub>1</sub>B'O', Y<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>D'Y', Y<sub>2</sub>, A'<sub>1</sub>D'B", A'<sub>1</sub>G' и G' (частота встречаемости 3,33–6,67 %). В данной системе у животных выявлено 6 аллелей, характерных для скота красной степной породы: G<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>O', O<sub>1</sub>D', Y<sub>2</sub>, A'<sub>1</sub>G' и G', при этом они, за исключением аллеля O<sub>1</sub>D', обнаружены в группе помесей.

В системе EAC групп крови отмечены аллели C<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>R<sub>1</sub>W, C<sub>1</sub>W, C<sub>1</sub>WX<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>X<sub>1</sub>C", C<sub>1</sub>X<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>C", R<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>X<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>X<sub>1</sub>, W, WC", X<sub>1</sub>, C", частота их встречаемости колеблется от 3,33% до 30,0 % по группам, или от 2,5 % до 12,5% в целом у протестированного поголовья. Аллели C<sub>1</sub>WX<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>X<sub>2</sub>, W и C" выявлены только в группе чистопородных животных красной степной породы, а C<sub>1</sub>X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>X<sub>1</sub>C", C<sub>1</sub>C", R<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>X<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>X<sub>1</sub>, WC" и X<sub>1</sub> – только у помесных животных.

В системе EAL аллель L обнаружен у 20,0% коров красной степной породы и 18,33% помесных. В системе групп крови EAS также наблюдается неоднозначная встречаемость аллелей на уровне 3,33–50,0 %. При этом в обеих группах выявлен только аллель H', аллели S<sub>1</sub>S<sub>2</sub> и S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>H' обнаружены у помесей, аллели S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>H' и U<sub>1</sub>U H"U", соответственно, только у чистопородных животных. В системе EAT' аллель T' встречается в обеих группах животных с незначительной разницей в частоте –10,0 % и 13,33 %.

Вклад 12 наиболее часто встречаемых аллелей животных красной степной породы и ее помесей с голштинской красной пестрой в общий аллелофонд популяции представлен на графике (рис.2).

Коэффициент генетического сходства определяли по антигенам, частота которых превышала 20%-ный уровень у животных красной степной породы:  $A_2$  (ЕАА-системы),  $G_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $A_1$ ,  $G'$ ,  $O'$  (ЕАВ-системы),  $C_1$  и  $W$  (ЕАС-системы) и  $H'$  (ЕАS-системы). Полученная величина, равная 0,9199 (или 91,99%), свидетельствует о высоком генетическом сходстве сравниваемых популяций красного степного скота и его помесей с голштинской красно-пестрой породой. Незначительно отличается и результат при учете всех антигенов: 0,9072 (или 90,72%). При расчете генетического сходства популяций по информативным аллелям получен индекс генетического сходства, равный 0,9461 (или 94,61 %).

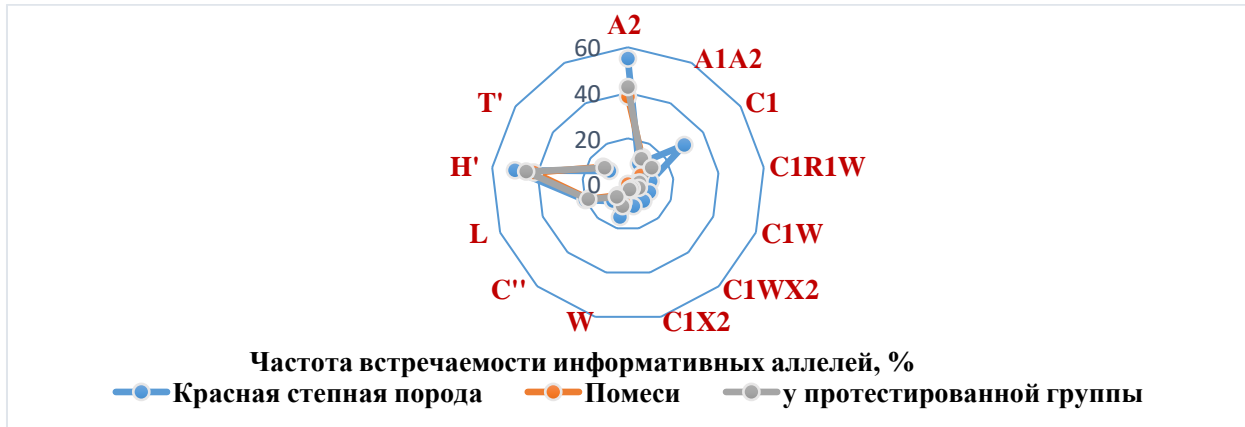


Рисунок 2. Аллелофонд групп крови: частота встречаемости информативных аллелей, %  
 Figure 2. Allelofund of blood groups: frequency of occurrence of informative alleles, %

По количеству молока, надоенного от первотелок за 305 дней, выгодно отличаются носители аллелей  $A_1A_2$  и  $C_1$  (рис. 3): при удое 3432,80±324,0 кг и 3478,40±178,6 кг соответственно, они превосходят не носителей данных аллелей на 369,86 кг и 421,97 кг, причем во втором случае – достоверно ( $P>0,95$ ).

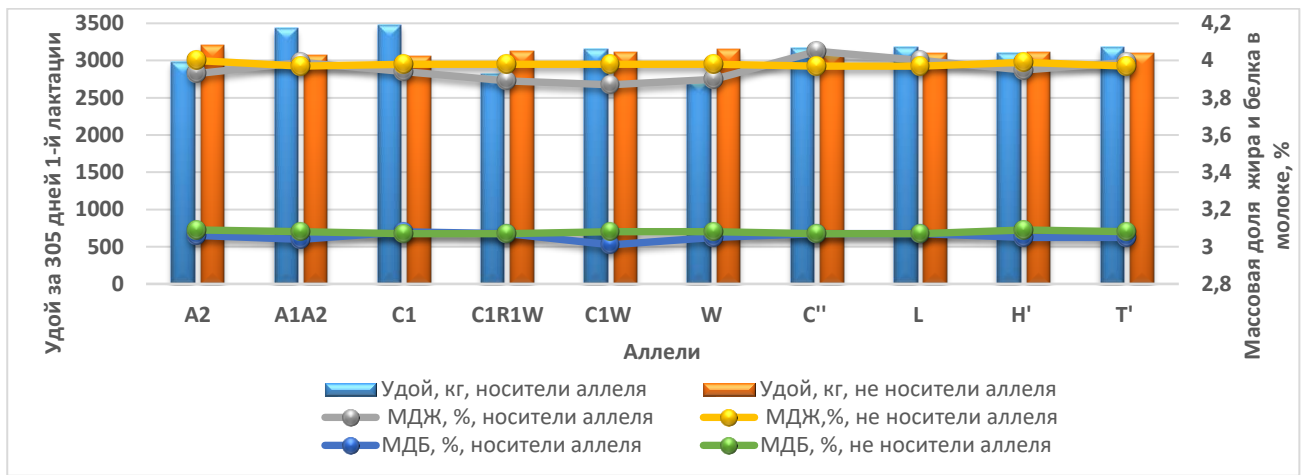


Рисунок 3. Количество надоенного молока за 305 дней первой лактации, кг; содержание жира и белка в молоке коров, носителей и не носителей изученных аллелей, %  
 Figure 3. The amount of milk produced before 305 days of the first lactation, kg; Fat content in the milk of cows, carriers and non-carriers of the studied alleles, %

Носители аллелей  $C_1R_1W$  и  $W$  при удоях 2812,00±121,8 кг и 2736,75±145,62 кг, соответственно, заметно уступают не носителям данных аллелей: на 312,82 кг и 413,81 кг ( $P>0,95$ ). По среднему содержанию жира в молоке (МДЖ) выгодно выделяются коровы-носители аллеля  $C''$ , которые при жирномолочности 4,05% на 0,08 абсолютных процента достоверно превосходят сверстниц, не носителей данного аллеля ( $P>0,95$ ). Превосходство

также отмечается у носителей аллелей L (МДЖ 4,00 %)  $A_1A_2$  и T' (МДЖ 3,99 %): на 0,02–0,03 абсолютных процента по сравнению с не носителями таковых. Значительно уступают по данному показателю носители аллелей  $A_2$  – на 0,07 ( $td=3,18$ ) и  $C_1W$  – на 0,11 абсолютных процентов ( $td=11,0$ ). По белковомолочности (МДБ) только носители аллеля  $C_1$  (при МДБ 3,08%) на 0,01 абсолютных процента превосходят не носителей его, при этом разница недостоверна. Носители аллелей  $A_2$ ,  $A_1A_2$ , W, H' и T' достоверно уступают по содержанию белка в молоке не носителям их на 0,03-0,04 абсолютных %, носители аллеля  $C_1W$  уступают на 0,07 абсолютных % ( $td=7,0$ ).

**Выводы.** Проведенные исследования позволили установить аллелофонд, информативные аллели и частоту встречаемости антигенов групп крови популяции скота в АО «Кизлярагрокомплекс», а также высокий уровень генетического сходства между красной степной породой и помесями ее с голштинской красной пестрой. В изученной популяции по удою за первую лактацию выгодно отличаются носители аллелей  $A_1A_2$  и  $C_1$ , по содержанию жира в молоке – носители аллелей C' и L, по содержанию белка носители аллеля  $C_1$ , что желательнo учитывать в селекционной работе.

#### Список источников литературы

1. Selionova M.I., Plakhtyukova V.R. Polymorphism of the CAPN1 and GH genes and its relationship with the productivity of cattle of the kazakh white-headed breed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management, Baicsem 2020". – 2020. – p. 012131. – doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012131.
2. Букаров Н. Г., Князева Т.А., Новиков А.А., Хрунова А.И., Марзанов Н.С. Мониторинг генетической структуры красно-пестрой и красных пород в племенных стадах // Молочное и мясное скотоводство. – 2016. – № 5. – С. 8–12.
3. Кузнецов В.М. Методы Нея для анализа генетических различий между популяциями // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2020. – № 1. – С. 91–110.
4. Новиков А.А., Букаров Н.Г., Рыжова Н.Г., Хрунова А.И., Дунин М.И. Генетическое маркирование в племенном скотоводстве // Зоотехния. – 2019. – № 5. – С. 2. doi: 10.25708/ZT.2019.29.37.002.
5. Ткаченко И.В., Гридин В.Ф., Гридина С.Л. Полиморфные системы групп крови и продуктивность крупного рогатого скота Уральского типа // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015. – № 4. – С. 53–55.
6. Шукюрова Е.Б., Марзанов Н.С. Мониторинг аллелофонда EAB-локуса групп крови в процессе селекции крупного рогатого скота голштинской породы в условиях Сахалинской области // Аграрная Россия. – 2021. – № 12. – С. 26–30. doi: 10.30906/1999-5636-2021-12-26-30.
7. Ignatieva N.L., Voronova I.V., Nemtseva E.Yu., Toboev G.M. Use of holstein bulls in improvement of black pied cattle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021" 2021. – С. 012025. – doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012025.
8. Ignatieva N.L., Nemtseva E.Yu. Protein content in milk of holstein blackand-white cows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Cheboksary, 2020. – P. 012042. – doi: 10.1088/1755-1315/604/1/012025.
9. Koshchayev A.G. et. al. Allelic variation of marker genes of hereditary diseases and economically important traits in breeding cattle population / A.G. Koshchayev, I.V. Shchukina, A.V. Garkovenko, E.V. Pnitskaya, V.V. Radchenko, A.A. Bakharev, L.A. Khrabrova // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2018. – Т.10. – № 6. – P.1566–1572.
10. Селионова М.И., Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Сулыга Н.В., Витол В.А. Иммуногенетические маркеры хозяйственно-полезных признаков черно-пестрого скота // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 2 (26). – С. 53–59.
11. Кольцов Д.Н. Дмитриева В.И., Багиров В.А., Гонтов М.Е., Онуфриев В.А., Татуева О.В. Генотипы EAF-системы групп крови в селекции крупного рогатого скота на продуктивность // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 10. – С. 58–61. – doi: 10.24411/0235-2451-2019-11013.

12. Холодова Л. В., Новоселова К.С. Использование иммуногенетики в селекции молочного стада Республики Марий Эл // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2018. – Т.4. № 3. – С.69–77. doi: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-69-76.

### References

1. Selionova M.I. and Plakhtyukova V.R. (2020), "Polymorphism of the CAPN1 and GH genes and its relationship with the productivity of cattle of the kazakh white-headed breed". *Iop conference series: earth and environmental science: International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management, Baicsem 2020*, pp. 012131, doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012131.
2. Bukarov, N. G., Knyazeva, T.A., Novikov, A.A., Hrunova, A.I. and Marzanov, N.S. (2016), "Monitoring geneticheskoy struktury krasno-pestroj i krasnyh porod v plemennyh stadah" [Monitoring of the genetic structure of red-and-white and red breeds in breeding herds], *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. no. 5, pp. 8–12. (in Russ.).
3. Kuznetsov, V.M. (2020), "Metody Neyi dlya analiza geneticheskikh razlichij mezhdru populyაციями" [Nei's methods for analyzing genetic differences between populations], *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, no. 1, pp. 91–110. (in Russ.).
4. Novikov, A.A., Bukarov, N.G., Ryzhova, N.G., Khrunova, A.I. and Dunin, M.I. (2019), "Geneticheskoe markirovanie v plemennom skotovodstve" [Genetic marking in livestock breeding], *Zootekhnika*, no. 5, pp. 2, DOI: 10.25708/ZT.2019.29.37.002. (in Russ.).
5. Tkachenko, I.V., Gridin, V.F. and Gridina, S.L. (2015), "Polimorfnye sistemy grupp krovi i produktivnost' krupnogo rogatogo skota Ural'skogo tipa" [Polymorphic systems of blood groups and productivity of cattle of the Ural type], *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennykh nauk*, no. 4, pp. 53–55. (in Russ.).
6. Shukurova, E.B. and Marzanov, N.S. (2021), "Monitoring allelofonda EAB-lokusa grupp krovi v processe selekcii krupnogo rogatogo skota golshtinskoj porody v usloviyah Sahalinskoj oblasti" [Monitoring of the allele pool of the EAB locus of blood groups in the selection process of Holstein cattle in the conditions of the Sakhalin region], *Agrarnaya Rossiya*, no. 12, pp. 26–30. – doi: 10.30906/1999-5636-2021-12-26-30. (in Russ.).
7. Ignatieva, N.L., Voronova, I.V., Nemtseva, E.Yu. and Toboev, G.M. (2021), "Use of holstein bulls in improvement of black pied cattle", *Iop conference series: earth and environmental science: International agrosience conference, agrosience 2021*, pp. 012025, doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012025.
8. Ignatieva, N.L. and Nemtseva, E.Yu. (2020), "Protein content in milk of holstein black-and-white cows", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary*, pp. 012042. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012025.
9. Koshchayev, A.G., Shchukina, I.V., Garkovenko, A.V., Il'nitskaya, E.V., Radchenko, V.V., Bakharev, A.A. and Khrabrova, L.A. (2018), "Allelic variation of marker genes of hereditary diseases and economically important traits in breeding cattle population", *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 10, no. 6, pp.1566-1572.
10. Selionova, M.I., Kovaleva, G.P., Lapina, M.N., Sulyga, N.V. and Vitol, V.A. (2017), "Immunogeneticheskie markery khoz'jajstvenno-poleznykh priznakov cherno-pestrogo skota", [Immunogenetic markers of economically useful features in black-and-white cattle], *Molochnohoz'jajstvennyj vestnik*, no. 2 (26), pp. 53–59. (in Russ.).
11. Koltsov, D.N., Dmitrieva, V.I., Bagirov, V.A., Gontov, M.E., Onufriev, V.A. and Tatueva, O.V. (2019), "Genotipy EAF-sistemy grupp krovi v selekcii krupnogo rogatogo skota na produktivnost'" [Genotypes of the EAF system of blood groups in cattle breeding for productivity], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, vol. 33, no. 10, pp. 58–61, doi: 10.24411/0235-2451-2019-11013. (in Russ.).
12. Kholodova, L.V. and Novoselova, K.S. (2018), "Ispol'zovanie immunogenetiki v selekcii molochnogo stada Respubliki Marij El" [The use of immunogenetics in selection of dairy herd of the Republic Of Mari El], *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skohozyajstvennye nauki. Ekonomicheskie nauki*, vol. 4, no. 3, pp. 69–77, doi: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-69-76. (in Russ.).

**Сведения об авторах**

**Мусаева Ирина Вадимовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета биотехнологии, доцент кафедры кормления, разведения и генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джембулатова», spin-код: 4317-9178; AuthorID: 390152; Scopus author ID: 57395664200.

**Алиева Етар Магомедовна** – научный сотрудник лаборатории геномных исследований, селекции и племенного дела отдела животноводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», соискатель, старший преподаватель кафедры организации и технологий аквакультуры Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джембулатова», spin-код: 7119-3110, AuthorID: 720509.

**Information about the authors**

**Irina V. Musayeva** – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Dean of the Faculty of Biotechnology, Docent of Department Feeding, Breeding and Genetics of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov", spin-код: 4317-9178; AuthorID: 390152; Scopus author ID: 57395664200.

**Etar M. Aliyeva** – researcher at the Laboratory of Genomic Research, Breeding and Breeding of the Livestock Department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan", candidate, senior lecturer of the Department of Organization and Technologies of Aquaculture Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov", spin-код: 7119-3110, AuthorID: 720509.

**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.

**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.

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

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

*Статья поступила в редакцию 25.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.09.2022 г.; принята к публикации 17.09.2022 г.*

*The article was submitted 25.08.2022; approved after reviewing 10.09.2022; accepted after publication 17.09.2022.*

Научная статья

УДК 636.15.082.2 (450.51)

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-103-111

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ  
ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВНУТРИПОРОДНЫХ ТИПОВ  
ВЛАДИМИРСКОЙ ПОРОДЫ ЛОШАДЕЙ**

**Анна Вячеславовна Борисова<sup>1</sup>, Анастасия Викторовна Санганаева<sup>2</sup>,  
Андрей Александрович Дацишин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, Рязанская область,  
Рыбновский район, поселок Дивово; 391105, Россия; vniik63@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-0034-8747>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; asyvs@mail.ru,  
<http://orcid.org/0000-0002-5529-9949>

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, Рязанская область,  
Рыбновский район, поселок Дивово; 391105, Россия; dacyshin@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0001-5322-468X>

**Реферат.** Геометрическая морфометрия – новый подход к сравнению форм, активно развивающийся в последнее время. В зоотехнии этот метод нашел применение для фенотипической оценки экстерьера лошади на основе фотографии. Он позволяет оценить сходство и различие объектов по форме, исключая влияние различий в размерах. При помощи геометрической морфометрии можно определить визуальные отличия между внутрипородными (заводскими) типами лошадей различных пород и разных направлений использования. В связи с этим цель наших исследований – установить и подтвердить с помощью геометрической морфометрии визуальные различия между внутрипородными (заводскими) типами лошадей владимирской породы. Материалом для исследований послужили данные бонитировок лошадей владимирской породы, разводимых в Гаврилово-Посадском и Юрьев-Польском конных заводах, фотографии лошадей в экстерьерной стойке. Общее количество объектов исследования составило 156 голов. Для фотометрии взяты две группы снимков лошадей Гаврилово-Посадского и Юрьев-Польского конных заводов по 15 голов. В результате проведенных исследований установлено существование в породе двух внутрипородных типов по промерам и индексам телосложения: облегченный – Гаврилово-Посадского конного завода, утяжеленный – Юрьев-Польского конного завода. Наличие и дальнейшее культивирование в породе различных по выраженности хозяйственно-полезных признаков внутрипородных типов позволит в последующие годы использовать разные методы селекции, направленные на повышение гетерозиготности поголовья, и будет способствовать поддержанию достаточного уровня внутривидового и внутрипородного разнообразия, что особенно важно в условиях малочисленности породы. Применение метода геометрической фотометрии подтвердило наличие в породе двух внутрипородных типов. Наложение усредненной лошади каждого внутрипородного типа на общую усредненную лошадь владимирской породы показало, что имеются отличия между лошадьми Гаврилово-Посадского и Юрьев-Польского конных заводов по высоте передней конечности и выходу шеи.

**Ключевые слова:** внутрипородные типы, владимирская порода лошадей, геометрическая морфометрия



**Цитирование.** Борисова А.В., Санганаева А.В., Дацишин А.А. Применение метода геометрической морфометрии при дифференциации внутривидовых типов владимирской породы лошадей // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(68). – С. 103–111 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-103-111.

## APPLICATION OF GEOMETRIC MORPHOMETRY METHOD IN DIFFERENTIATION OF INTRA-BREED TYPES OF VLADIMIRSKAYA HORSE BREED

Anna V. Borisova<sup>1</sup>, Anastasia V. Sanganaeva<sup>2</sup>, Andrey A. Datsyshin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Horse Breeding, Ryazan region, Rybnovsky district, Divovo village; 391105, Russia; vniik63@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0034-8747>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; asyvs@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5529-9949>

<sup>3</sup>All-Russian Research Institute of Horse Breeding, Ryazan region, Rybnovsky district, Divovo village; 391105, Russia; dacyshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5322-468X>

**Abstract.** Currently, a new approach to comparing shapes is being actively developed - geometric morphometry. In animal science, this method has found application for the phenotypic assessment of the exterior of a horse based on a photograph. It allows you to evaluate the similarity and difference of objects in shape, excluding the influence of differences in size. With the help of geometric morphometry, it is possible to establish visual differences between intra-breed (factory) types of horses of various breeds and different directions of use. In this regard, the purpose of our research is to establish and confirm visual differences between intra-breed (factory) types of horses of the Vladimir breed using geometric morphometry. The material for the research was the evaluation data of horses of the Vladimir breed, bred in the Gavrilovo-Posadsky and Yuryev-Polsky stud farms, photographs of horses in the exterior stand. The total number of objects of study was 156 animals. For photometry, two groups of images of horses of the Gavrilovo-Posad and Yuryev-Polsky stud farms, 15 heads each, were taken. As a result of the research, the existence in the breed of two intra-breed types according to measurements and body indices was established: lightweight Gavrilovo-Posad stud farm, weighted - Yuryev-Polsky stud farm. The presence and further cultivation in the breed of economically useful traits of intra-breed types of different severity will allow in subsequent years to use different breeding methods aimed at increasing the heterozygosity of the livestock, and will help maintain a sufficient level of intra-line and intra-reed diversity, which is especially important in conditions of a small number of the breed. The application of the geometric photometry method confirmed the presence of two intra-breed types in the breed. The superimposition of the average horse of each intra-breed type on the general average horse of the Vladimir breed showed that there are differences between the horses of the Gavrilovo-Posadsky and Yuryev-Polsky studs in terms of the height of the forelimb and neck exit.

**Keywords:** *intra-breed types, Vladimir horse breed, geometric morphometry*

**Citation.** Borisova, A. V., Sanganaeva, A. V., Datsishin, A. A. (2022), "Application of geometric morphometry method in differentiation of intra-breed types of Vladimirskaaya horse breed", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no.3, pp. 103–111, (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-103-111.

**Введение.** В настоящее время активно развивается новый подход к сравнению форм – геометрическая морфометрия. Это комплекс методов многомерного анализа координат точек, в совокупности описывающих конфигурацию объекта. Главная задача методов геометрической морфометрии – оценить сходство и различие объектов по форме, исключая влияние различий в размерах.

Относительно недавно был предложен новый метод фенотипической оценки экстерьера лошади на основе фотографии, когда пространственная модель формы лошади извлекается из стандартизированной фотографии с использованием геометрической морфометрии [1; 2; 3]. Для улучшения оценки конформационных признаков Druml T. et al. [4] предложили свою методику сравнения субъективных оценок классификаторов с объективными измерениями лошадей с использованием геометрической морфометрии. Этот метод отслеживает форму лошади по фотографии, используя ориентиры и полу-ориентиры, которые могут быть статистически точными по сравнению с данными, относящимися к суждениям о лошади. Главная особенность геометрической морфометрии в том, что этот метод стандартизирует все формы, переводя, вращая и накладывая их в соответствии с их средней конфигурацией. Этот процесс создает новые координаты, которые можно использовать для дальнейшего анализа, они не зависят от фактического размера и одновременно описывают изменение формы.

Druml T. et al. [4] изучали изменения конформации тела липпицианской лошади в зависимости от генетического вклада арабской породы. В данной работе авторы хотели проверить, являются ли методы геометрической морфометрии, основанные на анализе изображений, подходящим инструментом для дифференциации фенотипических признаков между животными разной генетической основы. Несмотря на то что вводное скрещивание с арабскими лошадьми имело место между 1776 и 1945 гг., посредством методов геометрической морфометрии исследователям удалось обнаружить связь между особенностями строения лошадей липпицианской породы в зависимости от доли генов арабской лошади [5].

Конформационные и морфометрические характеристики изучались зарубежными учеными у шведской теплокровной породы лошадей, американской четвертьмильной лошади [6] и ряда других пород [7; 8; 9].

Фенотипическая дифференциация внутрипородных типов достаточно четко выражена и у характерных представителей различных пород фиксируется визуально [10; 11; 12].

При помощи геометрической морфометрии можно установить визуальные отличия между внутрипородными (заводскими) типами лошадей различных пород и разных направлений использования.

**Цель исследования** – установить и подтвердить с помощью геометрической морфометрии визуальные различия между внутрипородными (заводскими) типами лошадей владимирской породы.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Материалом для исследований послужили данные бонитировок лошадей владимирской породы, разводимых в Гаврилово-Посадском и Юрьев-Польском конных заводах, фотографии лошадей в экстерьерной стойке. Общее количество объектов исследования составило 156 голов. Для фотометрии взяты две группы снимков лошадей Гаврилово-Посадского и Юрьев-Польского конных заводов по 15 голов.

Для разметки фотографий (расстановки точек) использовали программу TPSDIG2 и TPSUTIL, разработанные F. James Rohlf. После разметки дальнейшую обработку данных проводили в программе MorphoJ. Исследовали два набора изображений лошадей. Затем был проведен статистический анализ данных. Расчет проводился методом главных компонент «PCA». Метод главных компонент является одним из основных способов уменьшить размерность данных с потерей минимума информации.

Основной статистический материал бонитировок был биометрически обработан с помощью статистического блока, включенного в программный пакет Microsoft Office Excel.

**Результаты исследований.** Проанализировав основные промеры (высота в холке, косая длина туловища, обхват груди и пясти) и индексы телосложения лошадей конных заводов, можно сделать вывод о наличии во владимирской породе внутрипородных типов (табл. 1).

Таблица 1. Типы телосложения лошадей владимирской породы  
Table 1. Body types of horses of the Vladimir breed

Конный завод	n		Промеры, см				Индексы, %		
			высота в холке	косая длина туловища	обхват груди	обхват пясти	формата	обхвата груди	костистости
Гаврилово-Посадский	71	M	166,5	175,3	206,2	23,2	105,3	123,9±	13,9
		±m	±0,4	±0,4	±0,9	±0,1	±0,2	0,6	±0,1
		σ	3,17	3,41	7,91	0,91	1,86	5,02	0,51
		Cv	1,91	1,95	3,84	3,93	1,76	4,05	3,66
Юрьев-Польский	55	M	163,6	171,9	204,8	23,8	105,1	125,2±	14,5
		±m	±0,6	±0,7	±0,9	±0,1	±0,3	0,5	±0,1
		σ	4,07	5,09	6,62	0,72	2,32	3,61	0,42
		Cv	2,49	2,96	3,23	3,04	2,21	2,88	2,90

Лошади Гаврилово-Посадского конного завода крупнее лошадей Юрьев-Польского конного завода, но менее костистые и массивные, т. е. имеют облегченный тип, близкий по характеристикам к упряжному.

Подобные характеристики телосложения лошадей Гаврилово-Посадского конного завода позволяют прогнозировать возможность их использования для производства животных в типе тяжелого гунтера, как это принято в европейском коннозаводстве, а также потенцировать их для эксплуатации в любительском конном спорте и хобби-классе.

Лошади Юрьев-Польского конного завода представляют утяжеленный тип упряжной лошади, пригодной для тяжелых сельскохозяйственных и транспортных работ, а также как основа для промышленного скрещивания в продуктивном коневодстве.

Тяжелый тип, характерный для Юрьев-Польского конного завода, определяется использованием в воспроизводстве жеребцов и маток линий Литого (через Леганта), Холода и Шерифа, что обеспечило капиталность телосложения и высокую костистость лошадей.

Наиболее перспективным, на наш взгляд, с учетом растущего спроса на крупную, нарядную прогулочную универсальную лошадь, является облегченный тип, сформированный в конном заводе «Гаврилово-Посадский» под влиянием родоначальников линий Аргуса (через Грозного), Ландыша и Сибарита.

Наличие и дальнейшее культивирование в породе различных по выраженности хозяйственно-полезных признаков внутривидовых типов позволит в последующие годы использовать разные методы селекции, направленные на повышение гетерозиготности поголовья, и будет способствовать поддержанию достаточного уровня внутривидового и внутривидового разнообразия, что особенно важно в условиях малочисленности породы.

Визуальные отличия между внутривидовыми (заводскими) типами при помощи геометрической морфометрии рассматривались в программе TPSUTIL. Формировался TPS файл из имеющегося набора изображений. Изначально были выбраны 40 точек и 54 полutoчек. Метки наносились на части тела лошади, которые можно легко определить визуально, полutoчки – между соседними метками на равных расстояниях друг от друга (рис. 1).

В процессе изучения материала стало понятно, что не все точки выбраны верно, а в расстановке полutoчек лучше использовать автоматическую расстановку вдоль кривой, описывающей силуэт животного. В связи с этим в работе использовалось только 40 точек (рис. 2).

Дальнейшая обработка данных проводилась в программе MorphoJ. Создавался классификатор, в нашем случае это GP и UP (гаврилово-посадские и юрьев-польские лошади). Для этого выбирали набор данных в дереве проекта, в «Preliminaries» пункт «Edit classifiers».

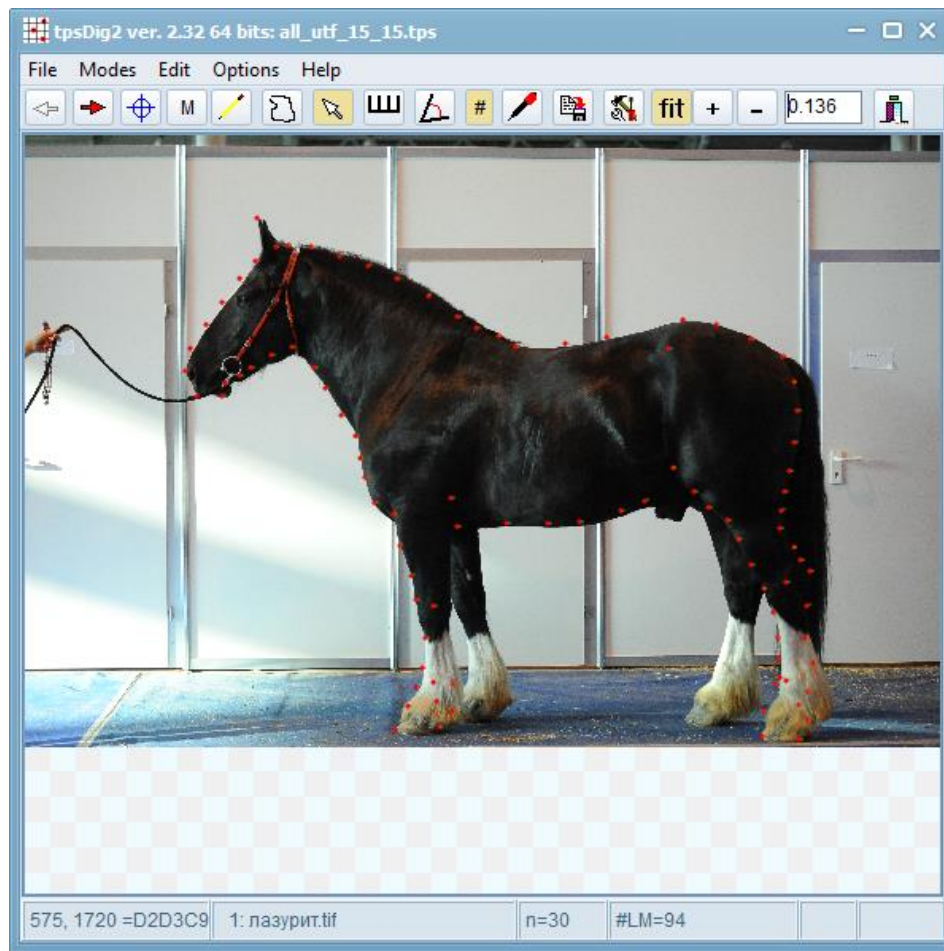


Рисунок 1. Разметка фотографий метками и полуметками  
Figure 1. Marking photos with marks and half marks



Рисунок 2. Разметка фотографии сорока точками, используемыми в обработке  
Figure 2. Marking up a photo with forty points used in processing

Создание прокрустовых выравниваний данных выбиралось в «Preliminaries». Далее переходили к созданию ковариационной матрицы «Generate Covariance Matrix», что необходимо для дальнейшего анализа. В результате созданная матрица появится в дереве

проекта, а отображалась усредненная конфигурация точек и разброс координат каждой особи вокруг них (рис. 3).

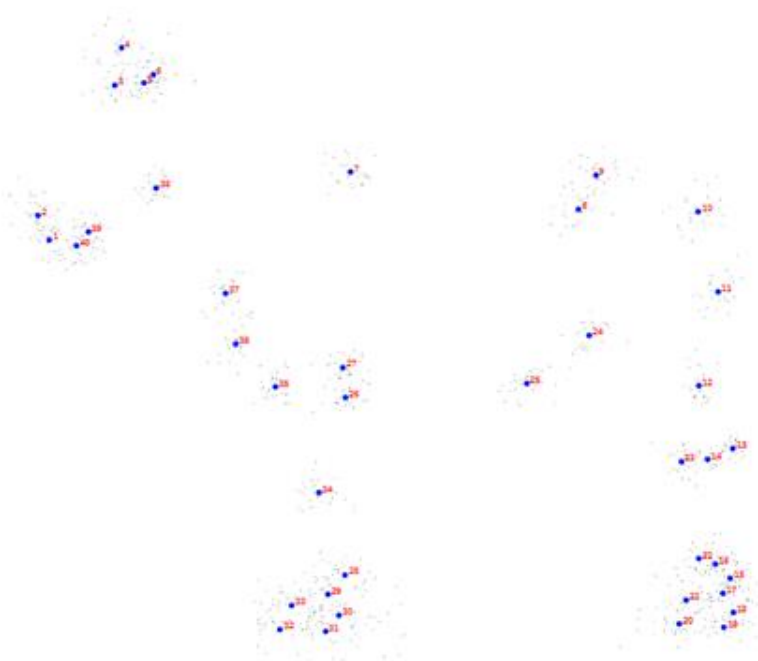


Рисунок 3. Визуализация консенсусной (усредненной) конфигурации точек и разброс координат точек каждой особи вокруг них

Figure 3. Visualization of the consensus (averaged) configuration of points and the spread of the coordinates of the points of each individual around them

Наложение усредненной лошади каждого внутрипородного типа на общую усредненную лошадь владимирской породы показало, что имеется отличие между двумя внутрипородными типами по высоте передней конечности и выходу шеи (рис. 4).

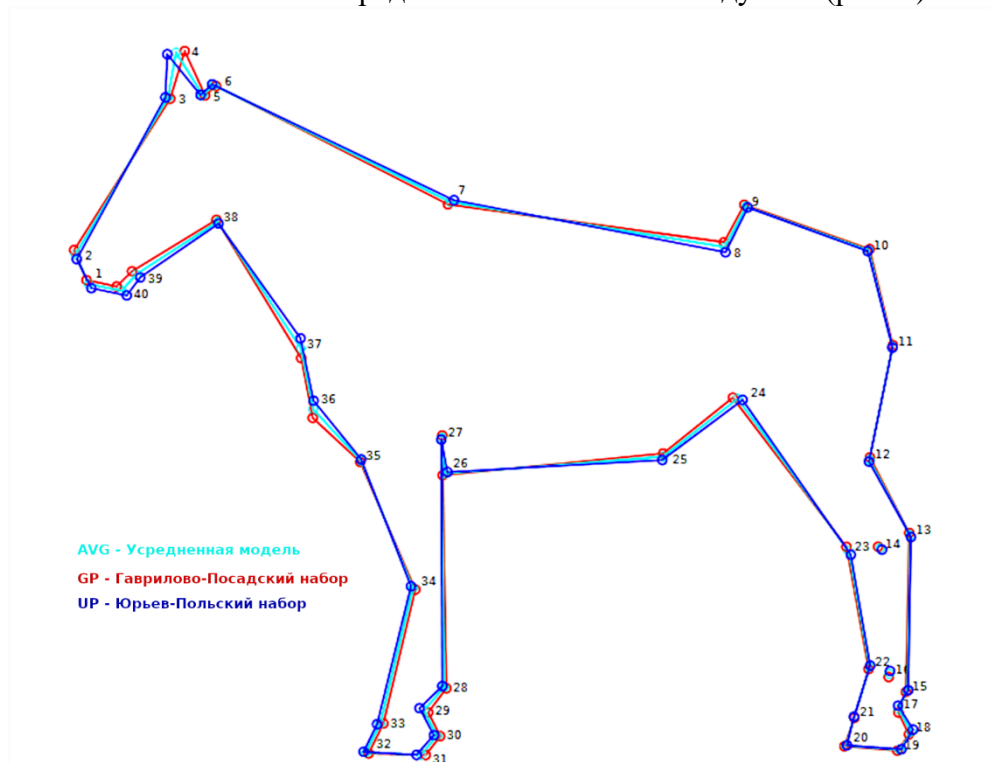


Рисунок 4. Наложение усредненной лошади в каждой группе на общую усредненную лошадь

Figure 4. Superposition of the average horse in each group on the total average horse

Затем был проведен статистический анализ данных. Расчёт проводился методом главных компонент «РСА».

Первые три главные компоненты покрывают 75%. Главные компоненты отражают вдоль своей оси изменение формы.

В нашем случае не было видно отчётливого различия формы между группами вдоль осей первых трех главных компонент.

**Выводы.** По промерам и индексам телосложения во владимирской породе выделяются два внутрипородных типа лошадей. Наложение усредненной лошади каждого внутрипородного типа на общую усредненную лошадь владимирской породы подтвердило имеющиеся различия между лошадьми Гаврилово-Посадского и Юрьев-Польского конных заводов, что позволяет выделить два внутрипородных типа.

В расстановке полуточек лучше использовать автоматическую расстановку вдоль кривой, описывающей силуэт животного.

### Список источников литературы

1. Gmel A.I., Druml T., Portele K., von NiederhaEusern R., Neuditschko M. Repeatability, reproducibility and consistency of horse shape data and its association with linearly described conformation traits in Franches-Montagnes stallions // *PLOS ONE* August 27. – 2018. – pp. 1–18, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202931>, (Дата обращения 11.07.2022).
2. Bookstein, F.L. *Morphometric Tools for Landmark Data Geometry and Biology*. Cambridge University Press, 2003.
3. MacLeod N. Phylogenetic signals in morphometric data. *Morphometrics, shape, and phylogeny* / eds N. MacLeod, P. L. Forey: Taylor & Francis. – 2002. – P. 100–138.
4. Druml, T., Horna, M., Grilz-Seger, G., Dobretsberger, M. and Brem, G. Association of body shape with amount of Arabian genetic contribution in the Lipizzan horse // *Arch. Anim. Breed.* –2018. – Vol. 61. – P. 79–85.
5. Holmström M., Magnusson L.E., Phillipsson. Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet J* 22. – 2009. – P.186–193.
6. Bär K., Bosch P., Rensing M., Bostrel U. Evaluation of a novel sistem for linear comformation gait, and personality trait scoring and automatic kanking of horses at breed shows: a pilot study in American Quarter Horses // *J. Equine Veterinary Science*. 2019. – Vol. 78. – P. 53–59.
7. Sadek M.H., A. Z. Al-Aboud, & A.A. Ashmawy. Factor analysis of body measurements in Arabian horses. *J. Anim. Breed Genet*. 2006. – № 123. – P. 369–377.
8. Takaendengana, B. J., Noorc, R. R., Adiania, & S. // *Morphometric Characterization of Minahasa Horse for Breeding and Conservation Purposes* // *Media Peternakan*. – Agustus 2011. – P. 99–104.
9. Zechner P., Zohman F., Solkner J., Bodo I., Habe F., Marti E., Brem G. Morphological Descripton of the Lipizzian Horse Population // *Livestock Production Science*. – 2001. – Т. 69. – № 2. – P. 163–177.
10. Борисова А.В. Внутрипородные типы першеронской породы лошадей // *Коневодство и конный спорт*. – 2020. – № 5. – С. 30–32.
11. Купцова Н.А., Дацишин А.А. Применение методов геометрической морфометрии при дифференциации шетлендских пони различных популяций // *Коневодство и конный спорт*. – 2021. – № 3. – С. 22–25.
12. Милько О.С., Сорокина И.И. Значение внутрипородных типов при разведении владимирской породы лошадей // *Коневодство и конный спорт*. – 2011. – № 5. – С. 21–23.

### References

1. Gmel, A.I., Druml, T., Portele, K., von NiederhaEusern, R. and Neuditschko, M. (2018), "Repeatability, reproducibility and consistency of horse shape data and its association with linearly described conformation traits in Franches-Montagnes stallions", *PLOS ONE*, August 27, pp. 1–18, available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202931> (Accessed 11 July 2022).
2. Bookstein, F.L. (2003), *Morphometric Tools for Landmark Data Geometry and Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
3. MacLeod, N. (2002), "Phylogenetic signals in morphometric data", *Morphometrics, shape, and phylogeny*, eds N. MacLeod, P.L. Forey, Taylor & Francis, pp. 100–138.

4. Druml, T., Horna, M., Grilz-Seger, G., Dobretsberger, M. and Brem, G. (2018), "Association of body shape with amount of Arabian genetic contribution in the Lipizzan horse", *Arch. Anim. Breed.*, vol. 61, pp. 79–85.
5. Holmström, M., Magnusson, L.E., Phillipsson (2009), "Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses", *Equine Veterinary Journal*, vol. 22, pp. 186–193.
6. Bär, K., Bosch P., Rensing, M., Bostrel, U. (2019), "Evaluation of a novel system for linear conformation gait, and personality trait scoring and automatic ranking of horses at breed shows: a pilot study in American Quarter Horses", *Journal Equine Veterinary Science*, vol. 78, pp. 53–59.
7. Sadek, M.H., Al-Aboud, A.Z. and Ashmawy, A.A. (2006), "Factor analysis of body measurements in Arabian horses", *Journal Anim. Breed Genet*, no 123, pp. 369–377.
8. Takaendengana, B.J., Noorc, R.R. and Adiania, &S. (2011), "Morphometric Characterization of Minahasa Horse for Breeding and Conservation Purposes", *Media Peternakan*, Agustus, pp. 99–104.
9. Zechner, P., Zohman, F., Solkner, J., Bodo, I., Habe, F., Marti, E. and Brem, G. (2001), "Morphological Description of the Lipizzian Horse Population", *Livestock Production Science*, vol. 69, no 2, pp. 163–177.
10. Borisova, A.V. (2020), "Vnutriporodnye tipy persheronskoj porody loshadej", *Konevodstvo i konnyj sport*, no 5, pp. 30–32.
11. Kupcova, N.A. and Dacishin, A.A. (2021), "Primenenie metodov geometricheskoj morfometrii pri differenciacii shetlendskih poni razlichnyh populyacij", *Konevodstvo i konnyj sport*, no 3, pp. 22–25.
12. Mil'ko, O.S. and Sorokina, I.I. (2011), "Znachenie vnutriporodnyh tipov pri razvedenii vladimirskoj porody loshadej", *Konevodstvo i konnyj sport*, no 5, pp. 21–23.

#### Сведения об авторах

**Борисова Анна Вячеславовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства», spin-код: 9420-2428.

**Санганаева Анастасия Викторовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2284-1349

**Дацишин Андрей Александрович** – аспирант, младший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства», spin-код: 6148-2630.

#### Information about the authors

**Anna V. Borisova** – Candidate of agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Horse Breeding", spin-code: 9420-2428

**Anastasia V. Sanganaeva** – Candidate of agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Large Animal Husbandry, Federal state budgetary educational institution of higher education "Saint Petersburg state agrarian University", spin-code: 2284-1349

**Andrey A. Datsishin** – graduate student, junior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Horse Breeding", spin-код: 6148-2630

**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 08.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 15.09.2022 г.*  
*The article was submitted 08.08.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 15.09.2022.*



Научная статья

УДК 663.915

doi: 10.24412/2078-1318-2022-2-112-121

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРУШАЮЩИХ  
НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРГАТОРАХ**

**Марина Михайловна Беззубцева<sup>1</sup>, Владимир Сергеевич Волков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; mysnegana@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-8469-7981>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; vol9795@yandex.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-3151-814X>

**Реферат.** В статье на основании теоретических и экспериментальных исследований проанализирован процесс трансформации подводимой к электромеханическому диспергатору энергии в энергию разрушения твердых тел и энергию активации материала. Выявлено, что по мере возрастания напряжений в материале наблюдаются физические процессы, обусловленные возникновением пластических деформаций, разрушением и диспергированием частиц. При достижении теоретического предела прочности материал активируется. С целью снижения энергоемкости товарной продукции, отвечающей требованиям стандарта как по качественным и экологическим показателям, так и по параметрам селективности фракционного состава дисперсной фазы, предложен инновационный способ механоактивации с использованием энергии электромагнитного поля. Представлен механоактиватор, конструктивная схема и принцип действия которого являются интеллектуальной собственностью авторов и защищены патентом РФ на изобретение. На основании анализа экспериментальных данных при различных режимах работы механоактиватора выявлена функциональная зависимость, при которой достигается равномерное распределение разрушающих усилий в контактных системах «шар–частица–шар». Равномерное распределение ударно-истирающих нагрузок по всему рабочему объему механоактиватора обеспечивает повышение показателя селективности распределения частиц продуктов помола и способствует интенсификации классической схемы производства за счет сокращения стадий диспергирования и исключения из схемы классификационного оборудования. Представлены критерии прогнозирования благоприятных условий механоактивации без возникновения сопутствующего нежелательного процесса загрязнения активированных материалов продуктами износа ферротел. Результаты теоретических исследований режимов работы механоактиватора и установленные закономерности априори обеспечивают возможность эффективного проектирования механоактиваторов с реализацией экологически чистых технологий переработки сырья в готовую продукцию.

**Ключевые слова:** способ электромеханической активации, критерии эффектов износа мелющих тел

**Цитирование.** Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование закономерностей формирования разрушающих напряжений в электромеханических диспергаторах // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 112–121. doi: 10.24412/2078-1318-2022-2-112-121.

## INVESTIGATION OF THE REGULARITIES OF THE FORMATION OF DESTRUCTIVE STRESSES IN ELECTROMECHANICAL DISPERSANTS

Marina M. Bezzubtseva<sup>1</sup>, Vladimir S. Volkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; mysnegana@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-8469-7981>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; vol9795@yandex.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-3151-814X>

**Abstract.** Based on theoretical and experimental studies the process of transformation of energy input to electromechanical dispersant into fracture energy of solid bodies and activation energy of material is analyzed in the article. It is revealed that as the stresses increase in the material, physical processes are observed due to the occurrence of plastic deformations, fracture and dispersion of particles. When the theoretical strength limit is reached, the material is activated. In order to reduce the energy intensity of commercial products that meet the requirements of the standard both in terms of quality and environmental indicators, and in terms of selectivity parameters of the fractional composition of the dispersed phase, an innovative method of mechanoactivation using electromagnetic field energy is proposed. Mechanoactivator whose design scheme and operating principle are the authors' intellectual property and are protected by a patent of the Russian Federation for invention is presented. Based on the analysis of experimental data for different modes of operation of the mechanoactivator, the functional dependence was revealed, at which the uniform distribution of destructive forces in the "ball-particle-ball" contact systems is achieved. The uniform distribution of shock-abrasive loads over the whole working volume of the mechanical activator ensures the enhancement of selectivity index of milling products particle distribution and intensifies the classic production scheme due to reduction of dispersing stages and exclusion of classification equipment from the scheme. Prediction criteria for favorable conditions of mechanical activation without accompanying undesirable process of contamination of activated materials with ferrotel wear products are presented. The results of theoretical studies of mechanoactivator operation modes and established regularities a priori provide the possibility of effective design of mechanoactivators with implementation of environmentally friendly technologies for processing of raw materials into finished products.

**Keywords:** *method of electromechanical activation, criteria for wear effects of grinding bodies*

**Citation.** Bezzubtseva, M.M. and Volkov, V.S. (2022), "Investigation of the regularities of the formation of destructive stresses in electromechanical dispersants", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 112–121, (in Russ). doi: 10.24412/2078-1318-2022-2-112-121.

**Введение.** Одним из перспективных направлений энергоэффективного развития агропромышленного комплекса и обеспечения технических условий реализации процессов переработки сырья с выходом качественной товарной продукции являются разработка и внедрение в производственные линии предприятий инновационных энергосберегающих и экологически чистых технологий с использованием методов активации процессов [1; 2]. В результате анализа способов активации разработана классификация по определяющему признаку – вид энергетического воздействия (рис. 1).

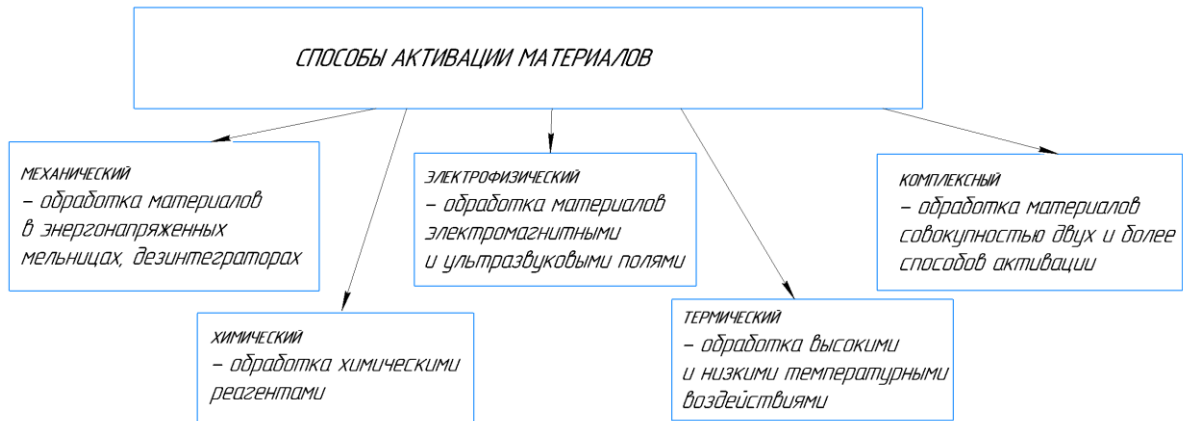


Рисунок 1. Классификация способов механоактивации  
 Figure 1. Classification of mechanical activation methods

Реакцию частиц дисперсной фазы перерабатываемого материала на механические воздействия во всех механоактиваторах, независимо от их конструктивных модификаций, можно представить в виде графических зависимостей (рис. 2). По мере возрастания напряжений в материале наблюдаются физические процессы, обусловленные возникновением пластических деформаций, разрушением и диспергированием частиц. При достижении теоретического предела прочности материал активируется.

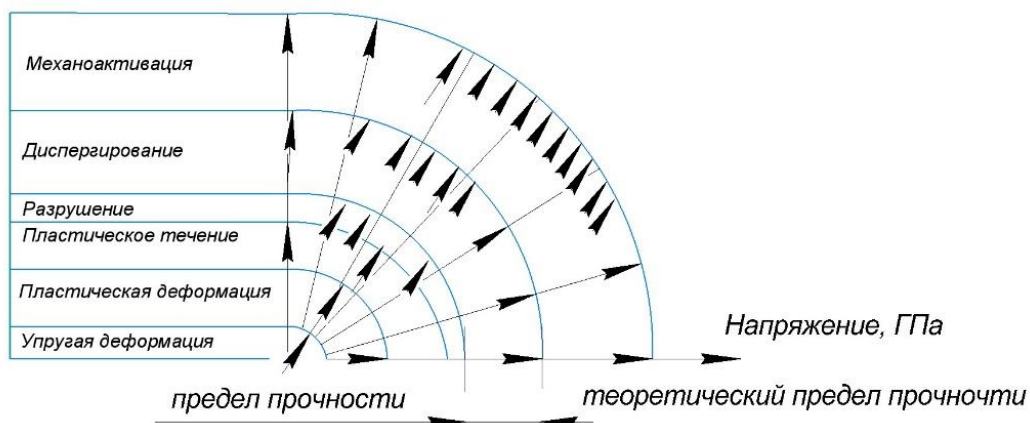


Рисунок 2. Зависимость вида процесса от интенсивности напряжения  
 Figure 2. Dependence of the type of process on the intensity of stress

При этом энергонапряженное силовое воздействие со стороны рабочих органов аппаратов-механоактиваторов на частицы перерабатываемого материала способствует возникновению и развитию процесса трансформации механической энергии. Накопительная энергия ускоряет и интенсифицирует протекание многих процессов, включенных (согласно технологии переработки) в аппаратно-технологическую линию производства. К этим процессам относятся процессы растворения, адсорбции, диффузии и других, в том числе гетерогенные. Часть энергии, передаваемой частицам продукта, при условии нарушения энергетического баланса и при несоблюдении научно обоснованных режимов механоактиваторов может трансформироваться в энергию разрушения поверхностного слоя рабочих элементов механоактиваторов, вызывая возникновение нежелательного эффекта «намола» и загрязнение продукции ферромагнитными примесями.

Установление закономерностей, позволяющих моделировать процесс механоактивации [1–9] с учетом взаимосвязи между тониной помола, физико-химическими и

механическими параметрами частиц продукта, затратами энергии на их механоактивацию, а также выявление закономерностей формирования энергонапряженных контактных взаимодействий между рабочими органами аппаратов и частицами перерабатываемого продукта являются актуальными задачами предприятий АПК.

**Материалы, методы и объекты исследования.** При установлении закономерностей эффекта «намола» размольных органов механоактиваторов применены классические положения и физико-математические модели теории трения и износа микрообъемов поверхностного слоя металлов, теория деформационного поведения продуктов различной твердости под действием внешнего силового воздействия и ударного разрушения твердых тел. Оценка эффекта «намола» рабочих органов электромеханического диспергатора проведена с использованием метода экспериментально-статистического анализа и метода ультрапид.

**Результаты исследования.** С целью снижения энергоемкости товарной продукции, отвечающей требованиям стандарта как по качественным и экологическим показателям, так и по параметрам селективности фракционного состава дисперсной фазы, разработан инновационный способ механоактивации с использованием энергии электромагнитного поля.

Для формирования разрушающих напряжений в частицах перерабатываемого продукта размольные ферромагнитные элементы, взаимодействуя между собой и внутренней поверхностью устройства, формируют энергонапряженное и легкоуправляемое силовое воздействие между собой через прослойку измельчаемого материала. На рис. 3 приведен электромеханический диспергатор (ЭМД), новизна которого подтверждена патентом РФ 1729383.

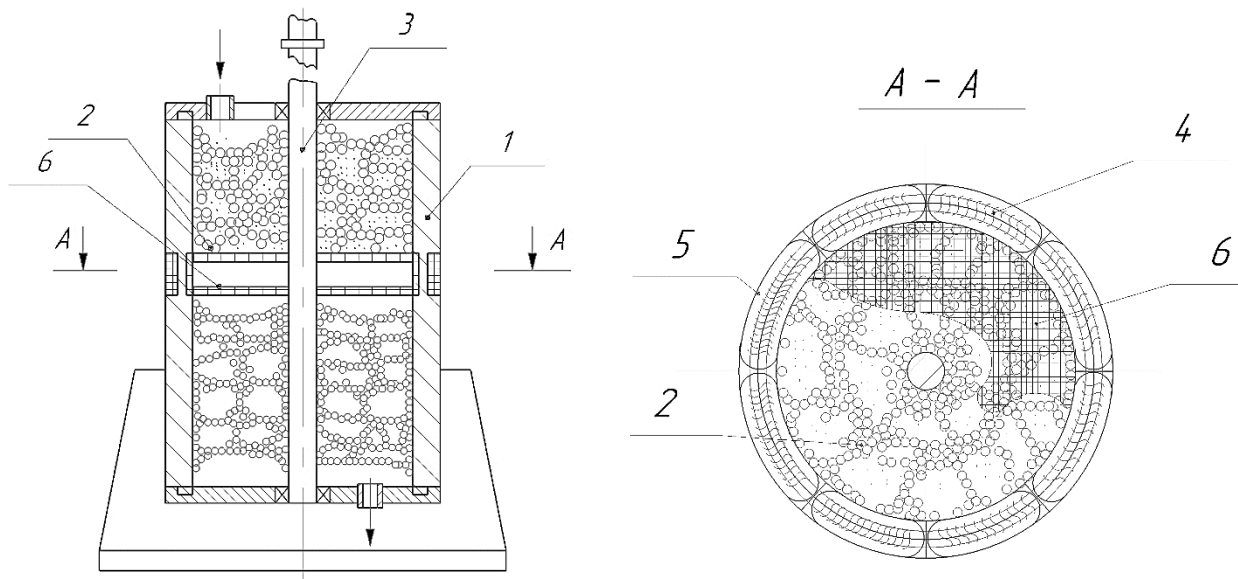


Рисунок 3. Электромеханический диспергатор (Патент РФ 1729383):

1 – цилиндрический ферромагнитный корпус; 2 – размольные ферромагнитные элементы;  
 3 – ферромагнитный ротор; 4 – обмотка управления 5 – постоянный электромагнит; 6 – сетка  
 из неферромагнитного материала

Figure 3. Electromechanical dispersant (RF Patent 1729383):

1 – cylindrical ferromagnetic housing; 2 – grinding ferromagnetic elements; 3 – ferromagnetic rotor;  
 4 – control winding 5 – permanent electromagnet; 6 – grid of non-ferromagnetic material

Регулирование интенсивности ударного воздействия на частицы продукта осуществляется скоростным режимом работы механоактиватора, а интенсивность способа измельчения сжатием и истиранием – электромагнитным режимом.

На основании анализа экспериментальных данных при различных режимах работы механоактиватора в диапазоне значений частоты вращения ротора  $n$  от  $15 \text{ с}^{-1}$  до  $24 \text{ с}^{-1}$  и величины индукции в камере аппарата от 0,1 до 0,4 Тл установлено, что равномерное распределение разрушающих усилий [1; 2; 3; 4; 5] в контактных системах «шар – частица – шар» достигается при соблюдении функциональной зависимости

$$n_1 = 0,16 \sqrt{\frac{K_1 F_r}{G_{p_1} R_K}}, \quad (1)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий действие центробежной силы на ферромагнитные элементы в объеме обработки продукта;  $F_r$  – величина силового взаимодействия между размольными элементами и ферромагнитным ротором в основании структурной группы,  $G_{p_1}$  и  $R_K$  – соответственно масса и координаты размольного элемента.

Практические исследования подтверждают гарантированное получение частиц твердой фазы в оптимальном диапазоне дисперсности при условии равномерного распределения диспергирующих нагрузок в рабочем объеме механоактиватора.

Отталкиваясь от требований по энергоэффективности и ресурсосбережению при обработке продуктов различного целевого назначения, необходимо соблюдать условия силового взаимодействия размольных органов механоактиватора с установлением их диапазонов в количественной форме.

Когда режимы работы аппарата обеспечивают научно обоснованную технологию переработки сырья и полуфабрикатов в готовую продукцию [10 – 15], а также установлены условия механоактивации, при которых энергетические потоки соответствуют условиям начала разрушения, процесса «намола» размольных органов не возникает.

Возникновения этого нежелательного эффекта можно избежать на основе оценки физико-механических свойств перерабатываемого материала и материала размольных органов механоактиваторов.

Если до разрушения частица способна внедриться в поверхность измельчающих ферроэлементов на глубину

$$h_B \approx 2,4(1 - \mu_n^2)^2 \left(\frac{HB}{E_y}\right)^2 r_{\text{ч}}, \quad (2)$$

что соответствует контурному давлению

$$p_c \approx \frac{5,4}{\Delta^2} \frac{HB^2(1 - \mu_n^2)^4}{E_y}, \quad (3)$$

где  $\mu_n$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль упругости;  $HB$  – твердость;  $\Delta$  – параметр шероховатости;  $\mu_n$ ,  $E_y$ ,  $HB$  – механические характеристики материала ферротел, то в зоне контакта на поверхности измельчающих ферроэлементов начинают проявляться пластические деформации.

Соответствующая этим условиям нагрузка, т. е. нагрузка, при которой возникают пластические деформации в зонах контакта системы «ферроэлемент – частица материала – ферроэлемент», определена выражением:

$$N_{ps} = 17r_p^2(1 - \mu_n^2) \frac{HB^3}{E_y^2}. \quad (4)$$

Согласно физической трактовке формирования разрушающих нагрузок, в рассматриваемом способе механоактивации в магнитоожигенном слое рабочего объема механоактиватора наблюдаются многоточечные контактные взаимодействия измельчающих размольных элементов с частицами продукта.

В соответствии с классической теорией усталостного изнашивания материалов можно утверждать, что в этом случае создаются условия разрушения поверхностного слоя ферротел.

Безразмерная характеристика  $\frac{h_{Bmax}}{r_{\text{ч}}}$  ( $h_{Bmax}$  – глубина максимального проникновения частицы в поверхность размольного органа);  $r_{\text{ч}}$  – глубина проникновения, определяющая разрушение частицы) обуславливает в микрообъемах воздействие упругой, упруго-пластической, пластической деформации либо микрорезания.

Оценка характера доминирующих деформаций позволяет выявить условия протекания электромагнитной механоактивации без «намола» размольных органов. Для осуществления этой оценки вводятся критерии перехода от упругой к пластической деформации  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{\text{У-П}}$  и от пластической деформации к микрорезанию  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{\text{П-М}}$ .

При выполнении условия

$$\frac{h_{Bmax}}{r} = \frac{h_{\text{ч}}}{r} \quad (5)$$

разрушение частицы наступает при равенстве

$$N_r = N_M, \quad (6)$$

где  $N_r$  – нормальное напряжение, приведенное к диаметральному сечению частицы, вызывающее их разрушение;  $N_M$  – нагрузка, действующая со стороны материала на внедряющуюся частицу.

При равенстве

$$\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{max} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_n}{HB}\right) < \left(\frac{h_B}{r}\right)_{n-M}, \quad (7)$$

где  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{n-M}$  – критерий перехода от пластических деформаций к микрорезанию, частица, моделируемая сферой, разрушается раньше, чем она достигает глубины внедрения, необходимой для осуществления прямого разрушения материала ферротел.

Практическое подтверждение целесообразности использования критериев прогнозирования благоприятных условий механоактивации без возникновения сопутствующего нежелательного процесса загрязнения активированных материалов продуктами износа ферротел проведено в механоактиваторе, конструктивная схема которого представлена на рис. 3. В экспериментах в качестве размольных элементов использованы феррошары диаметром 4 мм из стали 65Г ( $HB=45$ ). Измельчению подвергались продукты с различной твердостью по шкале Мооса: 1. Каменная соль (твердость 2), исходный размер частиц  $r_{\text{ч}} = 0,5$  мм, предел прочности  $\sigma_n = 10$  кгс/мм<sup>2</sup>  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{1max} = 0,11$ . 2. Кварцевый песок (твердость 7), исходный размер частиц  $r_{\text{ч}} = 0,5$  мм, предел прочности  $\sigma_n = 2,8$  кгс/мм<sup>2</sup>  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{2max} = 0,031$ .

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4.

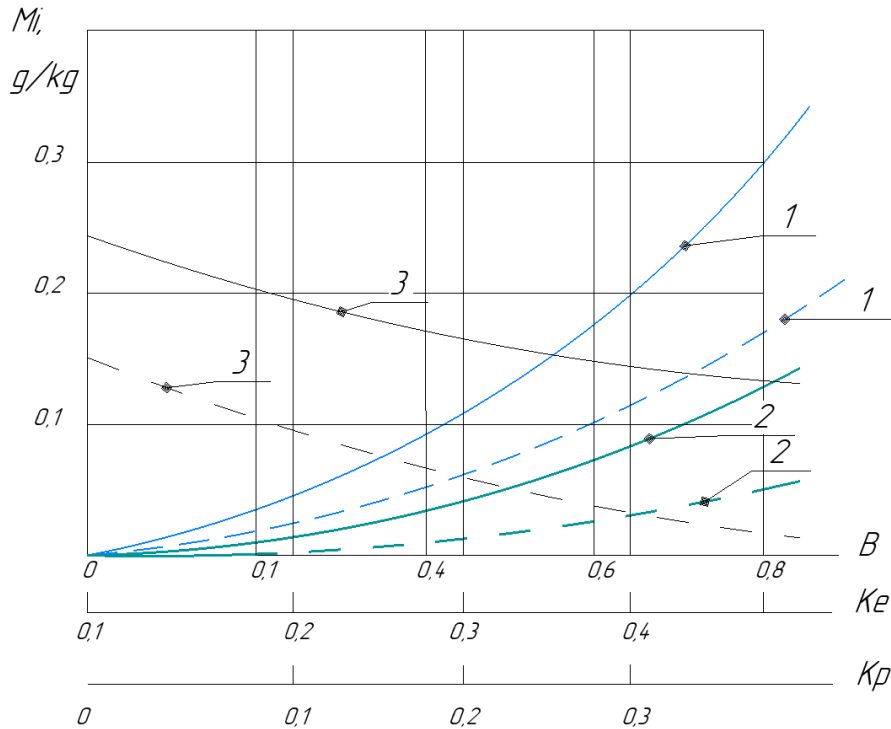


Рисунок 4. Намол железа в  $M_i$  в ЭМД зависимости от индукции (1), коэффициента объемного заполнения рабочего объема размольными элементами (2) и обрабатываемым продуктом (3),  $B$  – индукция в рабочем объеме ЭМД,  $K_e$  – коэффициент заполнения электромеханического диспергатора размольной составляющей (размольными органами),  $K_p$  – коэффициент заполнения электромеханического диспергатора размалываемой составляющей (перерабатываемым продуктом)

Figure 4. The grinding of iron in  $M_i$  in EMD depends on the induction (1), the volumetric filling coefficient of the working volume with grinding elements (2) and the processed product (3),  $B$  is the induction in the working volume of EMD,  $K_e$  is the filling coefficient of the electromechanical dispersant of the grinding component (grinding organs),  $K_p$  is the filling coefficient of the electromechanical dispersant of the grinding component (processed product)

Анализ полученных данных свидетельствует, что частицы материала разрушаются раньше, чем достигают глубины внедрения, необходимой для прямого разрушения

поверхности ферротел, процесс протекает в условиях  $\left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{y-n} < \left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{1,2 \max} \left(\frac{h_B}{r_{\text{ч}}}\right)_{n-m}$ .

Между тем при многократном энергонапряженном точечном контакте частиц с размольными элементами наблюдаются пластические деформации в микрообъемах поверхностного слоя рабочих органов механоактиватора, возникает вероятность усталостного изнашивания этого слоя.

Твердость продукта является основным параметром, характеризующим намол. При ее увеличении «намол» возрастает примерно в три раза и достигает максимального значения  $C_H = 0,01$  г/(кгс) при обработке максимально твердых частиц кварца.

**Заключение.** В результате исследований механизма формирования предельных деформаций в микрообъемах поверхностного слоя материала ферротел при взаимодействии этого слоя с твердой частицей перерабатываемого продукта установлены границы перехода к условиям осуществления нежелательного процесса «намола» и определены критические значения твердости частиц, вызывающие износ рабочих органов аппаратов. Установлены закономерности, априори обеспечивающие возможность проектирования механоактиваторов с реализацией экологически чистых технологий переработки сырья в готовую продукцию.

**Список источников литературы**

1. Bezzubceva, M.M., Volkov, V.S., Krishtopa, N.Y., Mastepanenko, M.A., Gabrielyan, S.Z. Theoretical Studies of the Method of Electromagnetic Mechanical Activation. Lecture Notes in Networks and Systemsthis. – 2021. – P. 206, 981–989.
2. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Модель образования сцепляющего усилия в ЭПМ // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 1987. – № 10. – С. 91–95.
3. Максвелл Д. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. – М.: ЁЁ медиа, 2015. – 823 с.
4. Fisher, H. Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism: The Central Argument. Green Lion Press, Santa Fe, 2014.
5. Tweney, R.D. Representing the electromagnetic field: how Maxwell's mathematics empowered Faraday's field theory // Science Education, 2011.– Vol. 20 (7–8). – P. 687–700.
6. Ijaz, M., Ayub M., Simulation of magnetic dipole and dual stratification in radiative flow of ferromagnetic Maxwell fluid. – Heliyon, 2019. – vol. 5, issue 4. – e01465.
7. Болога М.К., Заморев В.М., Сюткин С.В. Некоторые динамические аспекты магнитоожженных слоев // Электронная обработка материалов, 1986. – № 1. – С. 59–63.
8. Лебедев В.А., Вернигоров Ю.М., Кочубей А.А. Сущность и закономерности динамики процесса обработки ферромагнитными гранулированными средами во вращающемся электромагнитном поле // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 1 (52). – С. 84–91.
9. Болдырев В.В. и др. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий: монография. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 343 с.
10. Ahmadian H., Ghadiri M. Granule attrition by coupled particle impact and shearing // Advanced Powder Technology, 2021. – Vol. 32 (1). – P. 204–210. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.001>.
11. Kizuku Kushimoto, Mika Moriyama, Atsuko Shimosaka, Yoshiyuki Shirakawa, Jusuke Hidaka, Shingo Ishihara, Junya Kano. Measurement method for dispersion states of filler particles in particulate composite materials by macroscopic permittivity // Advanced Powder Technology, 2020. – Vol. 32 (1). – P. 272–282. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.003>.
12. Пономарев С.В. и др. Современные корма для ценных объектов аквакультуры: новые кормовые источники протеина, решение проблемы замены рыбной муки // Инновационные решения для повышения эффективности аквакультуры: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (ВДНХ, 5 февраля 2019 г.). – М.: Перо, 2019. – С. 305–309.
13. Беззубцева М.М. Способ измельчения шоколадных масс // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 1993. – № 5-6(216-217). – С. 65–67.
14. XiaolingTian, Binghua Sun, Xiaoxi Wang, Sen Ma, Li Li, Xiaojie Qian. Effects of milling methods on rheological properties of fermented and non-fermented dough // Grain & Oil Science and Technology, 2020. – Vol. 3. – P.77–86. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.06.003>.
15. Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology // Food Chemistry, 2018. –P. 248, 296–303. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.054>.

**References**

1. Bezzubceva, M.M., Volkov, V.S., Krishtopa, N.Y., Mastepanenko, M.A. and Gabrielyan, S.Z. (2021), *Theoretical Studies of the Method of Electromagnetic Mechanical Activation*, Lecture Notes in Networks and Systemsthis 206, pp. 981–989.
2. Pugovkin P.R., Bezzubtseva M.M. (1987), *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika*, no 10, pp 91-95. (in Russ.)
3. Maxwell D. (2015), *Izbrannye sochineniya po teorii elektromagnitnogo polya* [Selected works on the theory of the electromagnetic field], YOYO media, Moscow. (in Russ.)
4. Fisher, H. Maxwell's (2014), *Treatise on Electricity and Magnetism: The Central Argument*, Green Lion Press, Santa Fe.



5. Tweney, R.D. (2011), "Representing the electromagnetic field: how Maxwell's mathematics empowered Faraday's field theory", *Sci. Educ.*, no. 20 (7–8), pp. 687–700.
6. Ijaz, M. and Ayub, M. (2019), "Simulation of magnetic dipole and dual stratification in radiative flow of ferromagnetic Maxwell fluid", *Heliyon*, vol. 5, Issue 4, e01465.
7. Bologa, M.K., Zamorev, V.M., Syutkin, S.V. (1986), Nekotorye dinamicheskie aspekty magnitoozhizhennyh sloev [Some dynamic aspects of magnetically fluidized beds], *Electronic processing of materials*, no. 1, Kishinev, Moldova, pp. 59–63. (in Russ.).
8. Lebedev, V.A., Vernigorov, Yu.M., Kochubey, A.A., (2016), "The essence and regularities of the dynamics of the process of processing with ferromagnetic granular media in a rotating electromagnetic field", *Progressive technologies and systems of mechanical engineering*, no. 1 (52), - Don GTU, pp. – 84-91. (in Russ.).
9. Boldyrev, V.V. et al. (2009), *Fundamental'nye osnovy mekhanicheskoy aktivacii, mekhanosinteza i mekhanohimicheskikh tekhnologij* [Fundamentals of mechanical activation, mechanosynthesis and mechanochemical technologies: monograph], Publishing House of SB RAS, Novosibirsk. (in Russ.)
10. Ahmadian, H., Ghadiri, M. (2021), "Granule attrition by coupled particle impact and shearing", *Advanced Powder Technology*, 32 (1), pp. 204-210, <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.001>.
11. Kizuku Kushima, Mika Moriyama, Atsuko Shimosaka, Yoshiyuki Shirakawa, Jusuke Hidaka, Shingo Ishihara, Junya Kano (2020), "Measurement method for dispersion states of filler particles in particulate composite materials by macroscopic permittivity". *Advanced Powder Technology*, 32 (1), 272-282, <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.003>.
12. Ponomarev, S.V. et al. (2019), *Sovremennye korma dlya cennyh ob"ektov akvakul'tury: novye kormovye istochniki proteina, reshenie problemy zameny rybnoj muki* [Modern feeds for valuable aquaculture objects: new feed sources of protein, solving the problem of replacing fish meal [Innovative solutions to improve the efficiency of aquaculture], Pero, Moscow. (in Russ.).
13. Bezzubtseva, M.M. (1993), The method of grinding chocolate masses, *Izvestiya of higher educational institutions, Food technology*, no 5-6 (216-217), pp. 65-67. (in Russ.).
14. XiaolingTian, Binghua Sun, Xiaoxi Wang, Sen Ma, Li Li, Xiaojie Qian (2020), Effects of milling methods on rheological properties of fermented and non-fermented dough, *Grain & Oil Science and Technology* 3, pp. 77–86, <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.06.003>.
15. Hackenberg, S., Jekle, M., Becker T. (2018), Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology, *Food Chemistry*. pp. 248, 296–303, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.054>.

#### Сведения об авторах

**Беззубцева Марина Михайловна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Энергообеспечения предприятий и электротехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 7467-3451, Scopus author ID: 57221199057.

**Волков Владимир Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры Энергообеспечения предприятий и электротехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2725-8803, Scopus author ID: 57224405947.

#### Information about the authors

**Marina M. Bezzubtseva** – Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Energy Supply of Enterprises and Electrical Technology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7467-3451, Scopus author ID: 57221199057.

**Vladimir S. Volkov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises and Electrotechnology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 2725-8803, Scopus author ID: 57224405947.

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 27.09.2022 г.*

*The article was submitted 01.08.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 27.09.2022.*

Научная статья

УДК 621.311(07)

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-121-130

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ЭНЕРГЕТИКЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Сергей Васильевич Гулин<sup>1</sup>, Александр Григорьевич Пиркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; serg.gulin2010@yandex.ru;  
<http://orcid.id/0000-0002-7355-0498>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; pirkin.ag@mail.ru;  
<http://orcid.id/0000-0003-1961-8831>

**Реферат.** Качественные исследования сложного энергетического и энерготехнологического оборудования (ЭТХО) на предприятиях АПК независимо от того, какие производственные процессы оно обеспечивает, невозможны без использования методологии системного анализа. В основу этой методологии положены поуровневая декомпозиция исследуемой системы, в нашем случае энергетической, и оценка эффективности отдельных ее подсистем.

Целью настоящей статьи является разработка методики исследования подсистемы ЭТХО на предприятии АПК, позволяющей осуществлять оценку ее экономической эффективности с учетом вероятностного характера протекающих процессов. Отличительной особенностью этой методики является то, что она позволяет одновременно учитывать влияние как внутренней, так и внешней среды на процесс функционирования подсистемы ЭТХО.

Предложенная в статье методика исследования апробирована на подсистеме ЭТХО крупного тепличного хозяйства в г. Пикалево Ленинградской области. Внутренняя среда исследуемой подсистемы включает в себя энергетический центр (ЭЦ), блок теплиц, резервуар дизельного топлива (РДТ) и службу главного энергетика (СГЭ). В качестве критерия эффективности при проведении исследований было выбрано математическое ожидание затрат на энергообеспечение тепличного хозяйства, являющееся достаточно простым и информативным критерием при решении вероятностных задач.

Полученные в статье результаты следует рассматривать как исходную информацию для оценки экономической эффективности тепличных хозяйств по таким общим критериям, как доход, прибыль и рентабельность.

**Ключевые слова:** энергетическая система, энерготехнологическое оборудование, эксплуатационная надежность, энергосервисная компания, эффективность производственного процесса, тепличный комплекс

**Цитирование.** Гулин С.В., Пиркин А.Г. Системный анализ в энергетике агропромышленного комплекса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 121–130, doi:10.24412/2078-1318-2022-3-121-130.

## SYSTEM ANALYSIS IN THE ENERGY INDUSTRY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Sergey V. Gulin<sup>1</sup>, Alexander G. Pirkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Petersburg highway, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; serg.gulin2010@yandex.ru; <http://orcid.id/0000-0002-7355-0498>

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State Agrarian University, Petersburg highway, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; pirkin.ag@mail.ru; <http://orcid.id/0000-0003-1961-8831>

**Abstract.** Qualitative research of complex energy and energy technology equipment (ETE) at agricultural enterprises, regardless of what production processes it provides, is impossible without using the methodology of system analysis. This methodology is based on a level-by-level decomposition of the system under study, in our case energy, and an assessment of the effectiveness of its individual subsystems.

The purpose of this article is to develop a methodology for the study of the ETE subsystem at the agro-industrial complex enterprise, which allows assessing its economic efficiency taking into account the probabilistic nature of the ongoing processes. A distinctive feature of this technique is that it allows you to simultaneously take into account the influence of both the internal and external environment on the functioning of the ETE subsystem.

The method proposed in the article has been tested on the study of the subsystem of this large greenhouse farm in the city of Pikalevo, Leningrad region. The internal environment of the subsystem under study includes an energy center (EC), a greenhouse block, a diesel fuel tank (DFT) and the Main power Engineer service (MPES). The mathematical expectation of the costs of greenhouse energy supply was chosen as the criterion of efficiency in conducting research, which is a fairly simple and informative criterion for solving probabilistic problems.

The results obtained in the article should be considered as initial information for assessing the economic efficiency of greenhouse farms according to such general criteria as income, profit and profitability.

**Keywords:** energy system, energy technology equipment, operational reliability, energy service company, production process efficiency, greenhouse complex.

**Citation.** Gulin, S.V. and Pirkin, A.G. (2022), “System analysis in the energy sector of the agro-industrial complex”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 121–130. (in Russ.), doi:10.24412/2078-1318-2022-3-121-130.

**Введение.** Основным объектом изучения в энергетической сфере агропромышленного комплекса (АПК) является энергетическая система (ЭС), которая представляет собой сложную техническую систему, предназначенную для обеспечения энергией различных объектов, и состоит из трех основных подсистем: генерирующей, передающей (распределительной) и потребительской [1] (рис. 1). Общая методология системных исследований в области энергетики изложена в работе академика Л.А. Мелентьева [2].

Деление систем на подсистемы (декомпозиция) является важнейшим методологическим подходом к исследованию сложных систем, в том числе и энергетических, при решении задач оценки эффективности их функционирования и развития [3].



Рисунок 1. Основные подсистемы ЭС  
 Figure 1. The main subsystems of the Energy System

Деление ЭС, представленное на рис. 1, является первым уровнем декомпозиции, в результате которого выделяются подсистемы, решающие основные задачи обеспечения энергией различных объектов: генерация, передача и распределение, потребление.

В дальнейшем подсистему потребления энергии будем называть энерготехнологическим оборудованием (ЭТХО).

Эффективность функционирования ЭС (рис. 1) в общем случае можно представить в виде некоторой сложной функции времени

$$Э_{ЭС}(t) = F[Э_{ПЭ}(t), Э_{ПРЭ}(t), Э_{ЭТХО}(t)], \quad (1)$$

где  $Э_{ПЭ}(t)$  – эффективность подсистемы производства (генерации) энергии;

$Э_{ПРЭ}(t)$  – эффективность подсистемы передачи и распределения энергии;

$Э_{ЭТХО}(t)$  – эффективность функционирования энерготехнологического оборудования, обеспечивающего процессы производства, хранения, транспортировки и первичной переработки сельхозпродукции.

В соответствии с классификацией, приведенной в работах [4; 5], можно выделить три основных назначения потребленной энергии в подсистеме ЭТХО:

- производство сельхозпродукции для реализации;
- обеспечение условий жизнедеятельности (обогрев, освещение, вентиляция, кондиционирование помещений и т. п.);
- подготовка производственного процесса путем, например, предварительного нагрева, сушки, увлажнения, дробления, прессования и других воздействий на материальные компоненты производственного процесса.

**Цель исследования** – формирование системного подхода для детального изучения процесса функционирования такой важной подсистемы ЭС, как энерготехнологическое оборудование (ЭТХО).

Используя комплексный подход, изложенный в работе [6], проведем второй уровень декомпозиции ЭС с учетом таких важных компонентов внешней среды ЭТХО, как поставка сырья, обеспечение энергетическими ресурсами и сервисными услугами. В результате декомпозиции получим обобщенную структурную схему функционирования ЭТХО, обеспечивающего производственный процесс (рис. 2).

Внутренняя среда подсистемы ЭТХО характеризуется такими показателями качества, как эксплуатационная надежность, ремонтпригодность, энергоэффективность, возможность использования энергосберегающих режимов и др. Во внутренней среде ЭТХО имеется автономный источник энергии, являющийся резервным, на случай нарушения централизованного энергообеспечения.

Устойчивую работу подсистемы в целом обеспечивают обратные связи, обозначенные на рис. 2 пунктирными линиями со стрелками. Эти связи осуществляют настройку параметров элементов как внутренней, так и внешней среды на обеспечение требуемого объема выпускаемой продукции.



Рисунок 2. Обобщенная структурная схема функционирования подсистемы ЭТХО  
 Figure 2. Generalized block diagram of the functioning of the ETE subsystem

- — — граница внутренней и внешней среды [the boundary of the internal and external environment];
- > потоки осведомительной информации [flows of informative information];
- > результаты деятельности [results of activity]

**Материалы, методы и объекты исследований.** Для получения высоких производственных и экономических показателей на предприятии АПК необходимо одновременно обеспечить:

- надежную поставку сырья;
- бесперебойное обеспечение различными энергоресурсами;
- организацию рациональной эксплуатации энергетических установок, обеспечивающих все технологические процессы, в том числе с привлечением ЭСКО.

Процесс эксплуатации включает в себя некоторую совокупность сервисных мероприятий с ЭТХО, в том числе производство, транспортировку, испытания, техническое обслуживание, ремонт и хранение.

Поскольку основным предназначением подсистемы ЭТХО является успешная реализация производственного процесса, качество ее работы следует оценивать через эффективность этого процесса:

$$Э_{ПП}(t) = F[Э_{ПС}(t), Э_{ОЭР}(t), Э_{ЭСКО}(t)], \quad (2)$$

где  $Э_{ПП}(t)$  – эффективность производственного процесса;

$\text{Эпс}(t)$ ,  $\text{Эозр}(t)$  – эффективность поставки сырья и обеспечения энергетическими ресурсами соответственно;

$\text{Ээско}(t)$  – эффективность функционирования энергосервисной компании.

В качестве примера проведем исследование подсистемы ЭТХО крупного тепличного хозяйства, расположенного в г. Пикалево Ленинградской области. Структурная схема этой подсистемы представлена на рис. 3.

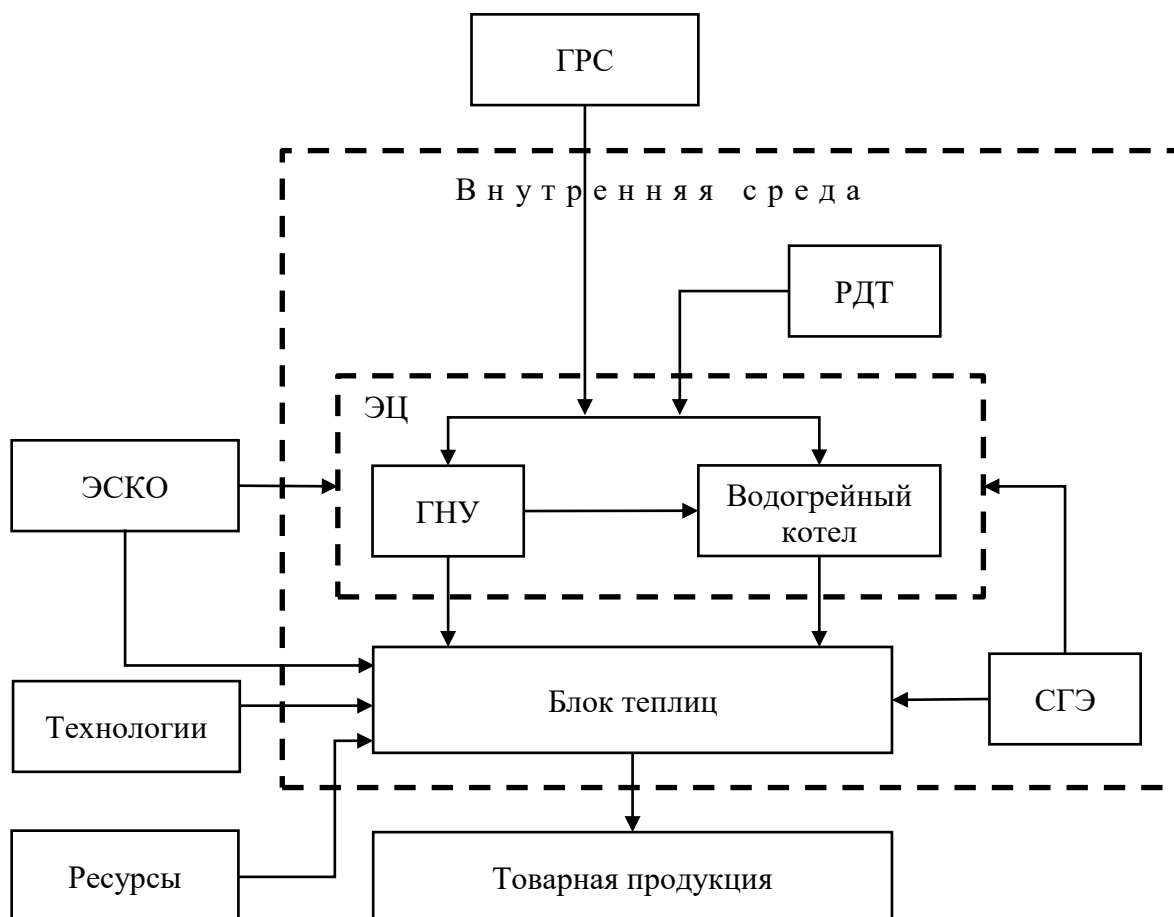


Рисунок 3. Структурная схема подсистемы ЭТХО тепличного хозяйства  
 Figure 3. Structural diagram of the ETE subsystem of the greenhouse industry

Отличительной особенностью этой подсистемы является то, что основным энергетическим ресурсом, обеспечивающим ее функционирование, является природный газ. Газ поступает от газораспределительной станции ГРС, расположенной во внешней среде подсистемы ЭСХО, на энергетический центр тепличного комплекса ЭЦ, включающий в себя газопоршневую установку ГПУ и водогрейный котел, которые обеспечивают блок теплиц электрической и тепловой энергией соответственно. В случае нарушения процесса подачи газа от ГРС есть возможность подключиться к резервуару с дизельным топливом РДТ.

Кроме газоснабжения, внешняя среда ЭСХО обеспечивает производственный процесс технологиями, ресурсами и сервисным обслуживанием энерготехнологического оборудования. К ресурсному обеспечению тепличного блока следует отнести семена овощных культур, агрохимикаты, субстраты для выращивания товарной продукции, биологические и химические средства защиты растений, шмелиные семьи и др.

Технология получения товарной продукции базируется на использовании способа малообъемной и проточной гидропоники [7].

Текущие вопросы, связанные с обслуживанием и ремонтом оборудования ЭЦ и

тепличного блока, частично решаются специалистами службы главного энергетика СГЭ.

Перейдем к решению задач оценки экономической эффективности подсистемы ЭТХО. Поскольку процессы, протекающие в рассматриваемой подсистеме, носят случайный характер, в качестве общего критерия экономической эффективности следует рассматривать математическое ожидание дохода  $МО[D]$  от реализации товарной продукции. Воспользовавшись основными определениями теории вероятностей, величину  $МО[D]$  можно определить следующим образом [8]:

$$МО[D] = P_G \times МО[D_G] + P_{ЭЛ} \times МО[D_{ЭЛ}] + P_{ДТ} \times МО[D_{ДТ}]. \quad (3)$$

Строго говоря, формула (3) справедлива для конкретного времени  $t_i$ .

$$МО[D_i] = P_{G_i} \times МО[D_{G_i}] + P_{ЭЛ_i} \times МО[D_{ЭЛ_i}] + P_{ДТ_i} \times МО[D_{ДТ_i}], \quad (4)$$

где  $МО[D_i]$  – математическое ожидание дохода для конкретного  $i$ -го момента времени;

$P_{G_i}$ ,  $P_{ЭЛ_i}$ ,  $P_{ДТ_i}$  – вероятности энергообеспечения тепличного комплекса от источников газа, электроэнергии и использования дизельного топлива для  $i$ -го момента времени соответственно;

$МО[D_{G_i}]$ ,  $МО[D_{ЭЛ_i}]$ ,  $МО[D_{ДТ_i}]$  – математические ожидания доходов от реализации товаров при условиях газоснабжения, электроснабжения или использования дизельного топлива.

При отсутствии возможности использования централизованного электроснабжения формула (4) приобретает следующий вид:

$$МО[D_i] = P_{G_i} \times МО[D_{G_i}] + P_{ДТ_i} \times МО[D_{ДТ_i}]. \quad (5)$$

**Результаты исследований.** В данной статье ограничимся проведением исследования экономической эффективности подсистемы ЭТХО тепличного комплекса с использованием такого частного критерия, как математическое ожидание затрат на энергообеспечение  $МО[Z_{Э_i}]$ :

$$МО[Z_{Э_i}] = P_{G_i} \times МО[Z_{G_i}] + P_{ДТ_i} \times МО[Z_{ДТ_i}], \quad (6)$$

где  $P_{G_i}$ ,  $P_{ДТ_i}$  – вероятности энергообеспечения газом и дизельным топливом соответственно;

$МО[Z_{G_i}]$ ,  $МО[Z_{ДТ_i}]$  – математические ожидания затрат на газ и дизельное топливо.

Разделим временную область исследования затрат на энергообеспечение  $T$  на 10 интервалов времени ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ). На каждом из этих интервалов  $\Delta t_i$  величины  $P_{G_i}$ ,  $P_{ДТ_i}$ ,  $МО[Z_{G_i}]$ ,  $МО[Z_{ДТ_i}]$  будем считать постоянными. На основе анализа опыта длительной эксплуатации подсистемы ЭТХО тепличного комплекса получен диапазон вероятностей надежного централизованного газоснабжения  $P_{G_i} = 0,8 - 0,95$ .

В связи со сложившейся в настоящее время экономической ситуацией  $МО[Z_{G_i}]$  и  $МО[Z_{ДТ_i}]$  будем измерять в условных единицах (у. е.) [10].

Исходные данные для расчета занесем в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные  
 Table 1. Initial data

Номер интервала $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{G_i}$	0,8	0,88	0,91	0,83	0,86	0,93	0,82	0,84	0,89	0,94
$P_{ДТ_i}$	0,2	0,12	0,09	0,17	0,14	0,07	0,18	0,16	0,11	0,06
$МО[Z_{G_i}]$	120	110	180	230	220	200	170	130	150	140
$МО[Z_{ДТ_i}]$	260	230	390	500	480	440	390	280	320	310

Результаты расчетов, произведенных по формуле (6), представим в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов  
 Table 2. Calculation results

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$MO[Z_{Эi}]$	148	124,4	198,9	237,3	239,2	216,8	209,6	154	168,7	150,2

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 4.

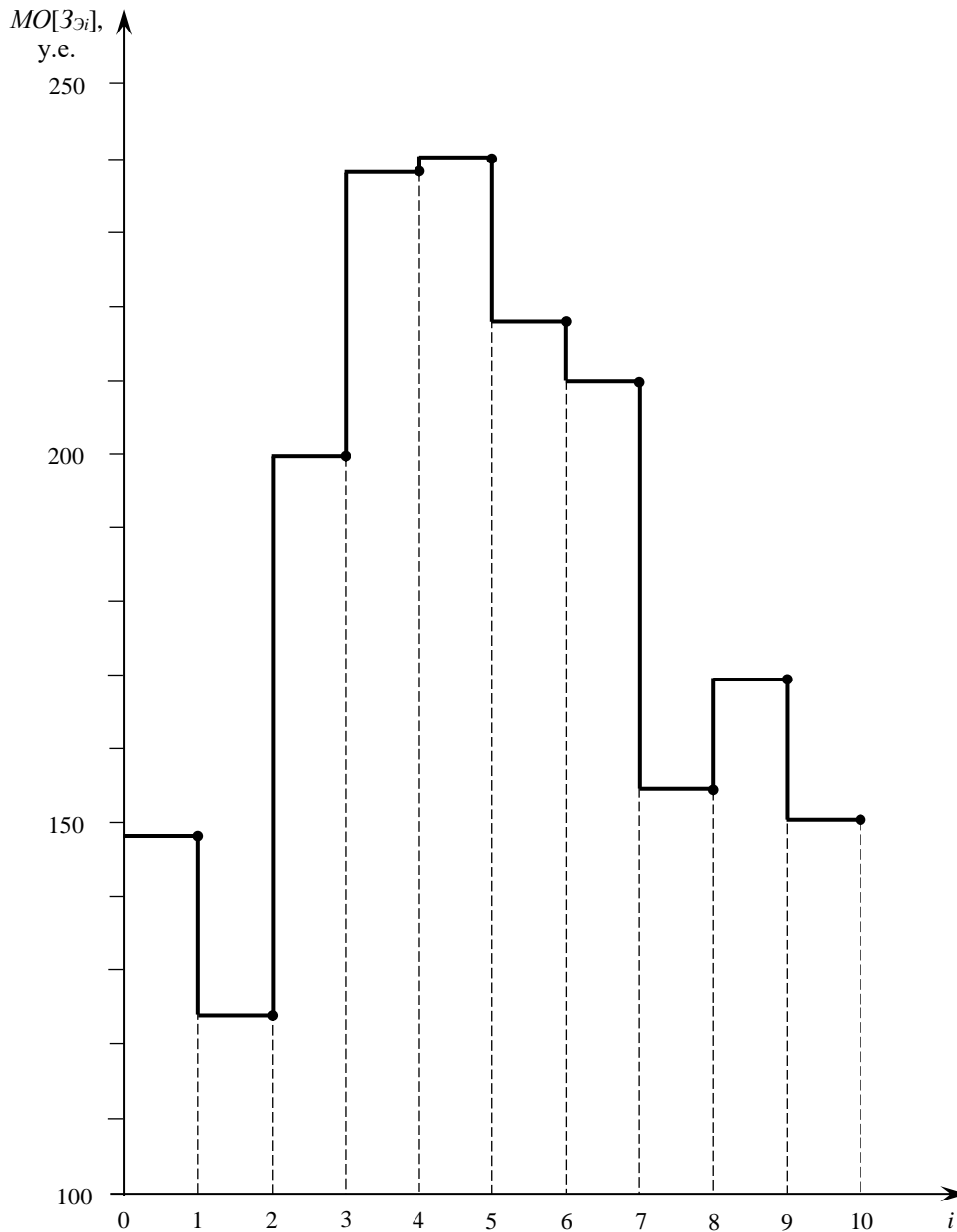


Рисунок 4. График изменения затрат на энергообеспечение тепличного комплекса  
 Figure 4. Graph of changes in the cost of energy supply of the greenhouse complex

Графические зависимости затрат на энергообеспечение определяются следующими характеристиками производственных процессов на тепличном комплексе и факторами, на них влияющими [9; 12]:



- агротехнические требования к возделываемой культуре в процессе ее роста и развития;
- заданные по статике и динамике условия макроклимата;
- параметры внешней окружающей среды в зависимости от времени суток и сезона;
- динамика ценовых колебаний на энергоносители.

Подобные зависимости могут быть получены также с учетом возможности использования централизованного электроснабжения тепличного комплекса [11]. Суммарные затраты на энергообеспечение во всей области исследования определяются следующим образом:

$$MO[Z_9] = \sum_{i=1}^{10} MO[Z_{9i}]. \quad (7)$$

Подставив численные значения  $MO[Z_{9i}]$  из таблицы 2 в формулу (7), получим

$$MO[Z_9] = 148 + 124,4 + \dots + 168,7 + 150,2 = 1847,1 \text{ у. е.}$$

Полученные результаты можно рассматривать как исходные данные при оценке экономической эффективности подсистемы ЭТХО по таким общим критериям, как доход, прибыль и рентабельность.

#### **Выводы**

1. Разработана методика исследования подсистемы ЭТХО, обеспечивающей производственные процессы на предприятиях АПК.
2. Получены общие математические выражения, позволяющие производить оценку экономической эффективности подсистемы ЭТХО с учетом случайных факторов.
3. Произведена апробация предложенной методики, позволяющая получить графические зависимости изменения затрат на энергообеспечение тепличного комплекса.

#### **Список источников литературы**

1. Скопинцев В.А. Качество электроэнергетических систем: надежность, безопасность, экономичность, живучесть. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 332 с.
2. Мелентьев Л.А. Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике. Л.А. Мелентьев. – М.: Наука: изд. фирма «Физ.-мат. лит.», 1995. – 300 с.
3. Пиркин А.Г. Теоретические основы системного анализа энергообеспечения предприятий: учебное пособие. – СПб.: СПбГАУ. – 2021. – 92 с.
4. Карпов В.Н. Энергосбережение. Метод конечных отношений: монография. – СПб.: СПбГАУ, 2005. – 135 с.
5. Карпов В.Н., Юлдашев З.Ш. Показатели энергетической эффективности действующих агроинженерных (технических) систем: монография. – СПб.: СПбГАУ, 2014. – 160 с.
6. Гулин С.В., Пиркин А.Г. Исследование комплексного подхода для решения задач эксплуатации сложных энерготехнологических систем на предприятиях АПК // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 37. – С.199–203.
7. Шарупич В.П. Культивационные сооружения с многоярусной узкостеллярной гидропоникой. Palmarium Academic Publishing, 2014. – 664 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов: 6-е изд. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
9. Ракутько С.А. Теория энергосбережения: научные абстракции и практическая конкретность // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 32. – С. 268–275.
10. Загоровская В.В. Тепличная эволюция: инновации на рынке оборудования для закрытого грунта // Агротехника и технологии – 2017. – № 2. – С.17–19.
11. Schulze, M. Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework / M. Schulze, H. Nehler, M. Ottosson, P. Thollander // Journal of Cleaner Production. – 2015.– Vol. 112, № 13/14. – P. 3692–3708.

12. Ullah M.A., Tungmunnithum D., Garros L., Drouet S., Hano C., Abbasi B.H. Effect of ultraviolet-C radiation and melatonin stress on biosynthesis of antioxidant and antidiabetic metabolites produced in vitro callus cultures of *Lepidium sativum* L. // International Journal of Molecular Sciences.– 2009. – 20, 1787. – <https://doi.org/10.3390/ijms20071787>.

### References

1. Skopintsev, V.A. (2009), *Kachestvo elektroenergeticheskikh sistem: nadezhnost', bezopasnost', ekonomichnost', zhivuchest'* [The quality of electric power systems: reliability, safety, efficiency, survivability], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian).
2. Melent'yev, L.A. (1995), *Izbrannyye trudy. Metodologiya sistemnykh issledovaniy v energetike* [Selected works. Methodology of system research in the energy sector], Nauka izd. firma «Fiz.-mat.lit.», Moscow. (in Russian).
3. Pirkin, A.G. (2021), *Teoreticheskiye osnovy sistemnogo analiza energoobespecheniya predpriyatiy. Uchebnoye posobiye* [Theoretical foundations of system analysis of energy supply of enterprises. Tutorial], Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. (in Russian).
4. Karpov, V.N. (2005), *Energosberezheniye. Metod konechnykh otnosheniy. Monografiya* [Energy saving. Finite relation method. Monograph], Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. (in Russian).
5. Karpov, V.N. and Yuldashev, Z.SH. (2014), *Pokazateli energeticheskoy effektivnosti deystvuyushchikh agroinzhenernykh (tekhnicheskikh) sistem. Monografiya* [Indicators of energy efficiency of existing agro-engineering (technical) systems. Monograph], Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. (in Russian).
6. Gulin, S.V. and Pirkin, A.G. (2014), “Study of an integrated approach for solving the problems of operating complex energy-technological systems at agro-industrial complex enterprises”, *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no.37, pp. 199–203.
7. Sharupich, V.P. (2014), *Kul'tivatsionnyye sooruzheniya s mnogoyarusnoy uzkostellarnoy gidroponikoy* [Cultivation facilities with multi-tier narrow-stellar hydroponics], Palmarium Academic Publishing, Moscow. (in Russian).
8. Venttsel', Ye.S. (1999), *Teoriya veroyatnostey: uchebnyk dlya vuzov* [Probability theory: a textbook for universities], 6th ed., Vysshaya shkola, Moscow. (in Russian).
9. Rakut'ko, S.A. (2013), “Theory of energy saving: scientific abstractions and practical concreteness”, *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 32, pp. 268–275.
10. Zagorovskaya, V.V. (2017), “Greenhouse evolution: innovations in the market for greenhouse equipment”, *Agrotekhnika i tekhnologii*, no. 2, pp. 17–19.
11. Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M. and Thollander, P. (2015), “Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, no. 13/14, pp. 3692–3708.
12. Ullah, M.A., Tungmunnithum D., Garros L., Drouet S., Hano C. and Abbasi B.H. (2009), Effect of ultraviolet-C radiation and melatonin stress on biosynthesis of antioxidant and antidiabetic metabolites produced in vitro callus cultures of *Lepidium sativum* L., *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 1787. – <https://doi.org/10.3390/ijms20071787>.

### Сведения об авторах

**Гулин Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры энергообеспечения производств и электротехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 7418-4418, Scopus author ID: 57221205780.

**Пиркин Александр Григорьевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергообеспечения производств и электротехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 6918-6735, Scopus author ID: 57221192886.

**Information about the authors**

**Sergey V. Gulin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Production and Electrical Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7418-4418, Scopus avtor ID: 57221205780.

**Alexander G. Pirkin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Production and Electrical Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", spin-code: 6918-6735, Scopus avtor ID: 57221192886.

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 02.09.2022 г.; принята к публикации 10.09.2022 г.*

*The article was submitted 01.08.2022; approved after reviewing 02.09.2022; accepted after publication 10.09.2022.*

Научная статья

УДК 581.41: 371.66

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-130-139

**НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ**

**Елена Николаевна Ракутько<sup>1</sup>, Сергей Анатольевич Ракутько<sup>2</sup>,  
Александр Николаевич Васькин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д. 3, Санкт-Петербург, 196625, Россия; elena.rakutko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Россия; sergej1964@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», ул. Советская, д. 2А, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., 243365, Россия; vaskin32@mail.ru

**Реферат.** Свет регулирует в растениях основные физиологические процессы, интенсивность протекания которых определяется степенью его захвата кроной. В исследованиях по светокультуре основной проблемой использования живых растений является сложность фиксации их изменяющихся во времени свойств, поэтому достоверность и воспроизводимость полученных результатов может быть невысокой. Натурное моделирование светокультуры с использованием физической модели, обладающей всеми основными свойствами живого растения данного вида, сорта и возрастного состояния,

позволяет производить длительные измерения, не опасаясь, что в течение экспериментов свойства растений изменятся.

Цель исследования – разработка средства имитации кроны живого растения (физической модели растения), позволяющего оценить степень использования светового потока в светокультуре. Для получения исходных данных о биометрии кроны использовали растения сладкого перца (*Capsicum Annuum L.*) в возрасте 30 суток после всходов. Моделируемые параметры – длина и ширина листьев, форма, площадь, длина черешка, углы его наклона и поворота относительно стебля, высота узлов листьев на стебле. Для оценки эффективности захвата кроной потока излучения использовали индекс листовой поверхности, определяемый как отношение общей площади листовой поверхности к горизонтальной площади кроны. Разработана модель, с помощью которой возможно непосредственное измерение этого индекса. Получена и проанализирована зависимость индекса от расстояния между растениями. Рассмотренный подход позволяет оптимизировать размещение контейнеров с растениями при их выращивании в светокультуре, с тем чтобы, с одной стороны, размещение было максимально компактным, с другой – не происходило недопустимое экранирование светового потока листьями соседних растений.

**Ключевые слова:** светокультура, растение, крона, ценоз, архитектура, моделирование, биометрия

**Цитирование.** Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н. Натурное моделирование в светокультуре // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022 – № 3 (68). – стр. 130–139 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-130-139.

## IN-SITU MODELING IN LIGHT CULTURE

Elena N. Rakutko<sup>1</sup>, Sergei A. Rakutko<sup>2</sup>, Alexander N. Vaskin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Filtrovskoye shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, 196625, Russia; elena.rakutko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Petersburg sh., 2, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia; sergej1964@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>

<sup>3</sup>Bryansk State Agrarian University, Sovietskaya st., 2A, Kokino, Vygonichskii dist., Bryansk region, 243365, Russia; vaskin32@mail.ru

**Abstract.** Light regulates the main physiological processes in plants, the intensity of which is determined by the degree of its capture by the crown. In studies on light culture, the main problem of using living plants is the difficulty of fixing their time-varying properties, so the reliability and reproducibility of the results obtained may be low. In-situ simulation of light culture using a physical model that has all the basic properties of a living plant of a given species, variety and age state, allows us to make long-term measurements without fearing that the properties of plants will change during the experiments.

The aim of the research is to develop a means of simulating the crown of a living plant (physical plant model), which allows us to assess the degree of light flux utilization in light culture. To obtain initial data on crown biometry we used sweet bell pepper (*Capsicum Annuum L.*) plants at the age of 30 days after sprouting. Modeled parameters were leaf length and width, shape, area, petiole length, angles of its inclination and rotation relative to the stem, and height of leaf nodes on the stem. The leaf surface index, defined as the ratio of the total leaf surface area to the horizontal area of the crown, was used to estimate the efficiency of radiation flux capture by the crown. A model was developed that can be used to measure this index directly. The dependence of the index on the distance between plants was obtained and analyzed. The considered approach allows to optimize the

placement of containers with plants when growing them in light culture, so that, on the one hand, the placement was as compact as possible, on the other hand, there was no unacceptable screening of the light flux by the leaves of neighboring plants.

**Keywords:** *light culture, plant, crown, cenosis, architectonics, modeling, biometry*

**Citation.** Rakutko E.N., Rakutko S.A., Vaskin A.N. (2022), "In-situ modeling in light culture", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 130–139, (in Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-130-139.

**Введение.** Свет регулирует основные физиологические процессы в растениях – фотосинтез, рост, морфогенез, метаболизм веществ, вплоть до экспрессии генов. Степень захвата света является важнейшим показателем эффективности организации ценоза. Архитектура ценоза оказывает сильное влияние на улавливание света, транспортировку воды и транспирацию, а также получение и распределение углерода. Архитектура ценоза обычно оценивается с использованием таких параметров, как форма листа, углы направления листа, длина междоузлий и т. д. [1]. Средствами традиционных математических выражений описать процесс захвата света кроной растения весьма сложно. Другой возможностью их получения является использование реальных растений и натурное моделирование.

Листья составляют наибольшую часть поверхности кроны сельскохозяйственных культур и обеспечивают обмен энергией и веществом между внешней средой и растениями. Такие важные процессы, как перехват света в ценозе, транспирация, дыхание и ассимиляция, непосредственно зависят от величины поверхности листьев. Площадь листьев  $S_l$  и особенно индекс листовой поверхности  $LAI$  (*Leaf Area Index*), определяемый как отношение общей площади листовой поверхности к площади их проекции (площади кроны)  $S_{кр}$ , являются важными показателями ценоза. Эти показатели имеют значение как для тепличников-практиков, так и для исследователей при мониторинге роста и благополучия растений [2]. Они являются особенно востребованными при моделировании сельскохозяйственных культур на всех иерархических уровнях организации – от отдельного растения до ценоза в целом [3]. Потребность в описании взаимодействия растений и окружающей среды при создании динамических моделей привела к необходимости получения оперативной информации о площади листьев. Разработан ряд методов для измерения величин  $S_l$  и  $LAI$ , включая прямые методы (как разрушающие, так и неразрушающие), пассивные оптические методы и активные методы дистанционного зондирования. Наиболее точными считаются методы прямого измерения, которые обычно служат стандартом для проверки косвенных методов [4], хотя в некоторых случаях вновь разработанные инструменты сравнивают с хорошо работающими и тщательно апробированными непрямими методами [5].

Прямые методы относительно трудоемки и требуют много времени на проведение измерений. Менее затратные разрушающие методы не всегда осуществимы в экспериментах, особенно при мониторинге роста кроны, когда требуется несколько отборов проб в разные сроки в течение вегетационного периода [6]. В последнее время наиболее широко используются оптические методы, которые реализуются в цептометрах (septometers). Цептометры часто применяют при исследовании сельскохозяйственных культур из-за относительно простого характера измерений и удобства. Основной принцип цептометрии заключается в том, что измеряют фотосинтетически активное излучение (ФАР) над и под кронами растений и вычисляют  $LAI$  на основе соотношения двух значений [7]. Точность таких измерений может быть существенно повышена за счет введения соответствующих корректирующих поправок [8].

Новым инструментом для анализа распределения и перехвата света в ценозе являются виртуальные растения, которые также можно использовать для количественного описания

топологии, геометрии и органов растений, которые моделируют обособленными трехмерными объектами. При этом передачу и перехват излучения описывают с помощью определенных алгоритмов [9].

Эффективным исследовательским инструментом количественного анализа взаимодействия света и структуры ценоза является трехмерная (3D) структурная модель растения. Так, результаты исследования модели ценоза огурца (*Cucumis sativus L.*) позволили предложить новые модели светоперехвата на основе трехмерных структур растений [10]. Разработанная 3D-модель сладкого перца (*Capsicum Annuum L.*) учитывает статическое состояние отдельных листовых поверхностей, густоту и распределение растений при выращивании [11]. Для древесных растений применение моделей позволяет оптимизировать структуру кроны, что обеспечивает более раннее плодоношение, высокую урожайность, здоровье растения в целом. Создана 3D-модель кроны мушмулы (*Eriobotrya japonica Lindl.*). Найдены взаимосвязи между углом ветвления и перехватом света. Созданное программное обеспечение позволяет путем интерактивного редактирования строить морфологические модели различных деревьев [12].

Основной проблемой использования живых растений в экспериментах является сложность фиксации их изменяющихся во времени свойств. За время проведения измерений свойства живых растений могут измениться существенным образом, поэтому достоверность и воспроизводимость полученных результатов может быть невысокой. Натурное моделирование светокультуры с использованием физической модели растения, обладающей всеми основными свойствами живого растения данного вида, сорта и возрастного состояния, позволяет производить длительные измерения, не опасаясь, что в течение экспериментов свойства растений изменятся.

Известны физические модели растений (например, по А.С. СССР № 424532. Модель сельскохозяйственного растения), состоящие из имитирующего стебель стержня, ветвей, фиксаторов и гибких звеньев. Ветви устанавливают так, чтобы создать копию исследуемого растения. Такие модели используют для изучения взаимодействия растений с рабочими органами сельскохозяйственных машин. Поэтому в качестве основного свойства натурной модели растения была принята гибкость ее ветвей. Для целей моделирования перехвата листьями растений света в светокультуре подобные технические решения не обладают достаточной функциональностью.

**Цель исследования** – разработка средства имитации кроны живого растения данного вида и возрастного состояния (физической модели растения), позволяющего оценить степень использования светового потока в светокультуре.

**Материалы, методы и объекты исследования.** В качестве объектов исследования использовали растения сладкого перца (*Capsicum Annuum L.*) среднеспелого сорта Калифорнийское Чудо. Растение имеет одиночные, цельнокрайные листья, по форме варьирующие от яйцевидной до ланцетно-эллипсовидной. Главный стебель хорошо выражен, до разветвления растение имеет спиральный филлотаксис [13]. Семена перца посеяли в торфяной субстрат 19.01.2022. Всходы появились 25.01.2022. Пикировали растения в контейнеры объемом 1 л с субстратом. Фотопериод составлял 16 ч., фотонная облученность 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, спектр источников – тепло-белый). Для создания физической модели использовали растения в возрасте 30 суток после всходов.

Для оценки эффективности захвата кроной растения потока излучения использовали индекс листовой поверхности LAI. В эксперименте необходимые для вычисления индекса площади определяли методом фотограмметрии, фотографируя крону растения и листья по отдельности с масштабом площади.

Предложена натурная модель, с помощью которой возможно непосредственное измерение этого индекса. Сигнал  $I_i$ , снимаемый с фоточувствительного материала, покрывающего поверхность  $i$ -го листа  $L_i$ , пропорционален (это учитывается коэффициентом

к) падающему на него от источника света (ИС) потоку  $\Phi_i$ , а значит, и площади освещенной части листа  $S_i^o$  (рис. 1).

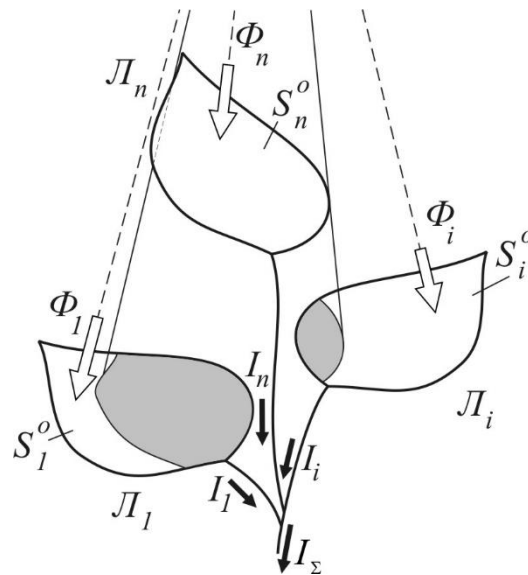


Рисунок 1. Схема взаимодействия потока с кроной растения  
 Figure 1. Scheme of the interaction of the flow with the crown of the plant

Суммарный сигнал:

$$I_{\Sigma} = k \sum_{i=1}^n S_i^o. \quad (1)$$

Выражение для вычисления LAI:

$$LAI = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n S_i^o}. \quad (2)$$

Значение числителя в формуле 2 задается при изготовлении модели, это суммарная площадь листьев. Подставляя выражение для суммы освещенных частей листьев из формулы 1 в знаменатель формулы 2, получаем выражение для LAI в зависимости от суммарного сигнала:

$$LAI = \frac{k \sum_{i=1}^n S_i}{I_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Таким образом, возможна непрерывная оценка эффективности захвата света кроной по суммарному сигналу от фоточувствительного слоя, покрывающего искусственные листья натурной модели.

**Результаты исследования.** На рис. 2 показано устройство предложенной натурной модели растения.

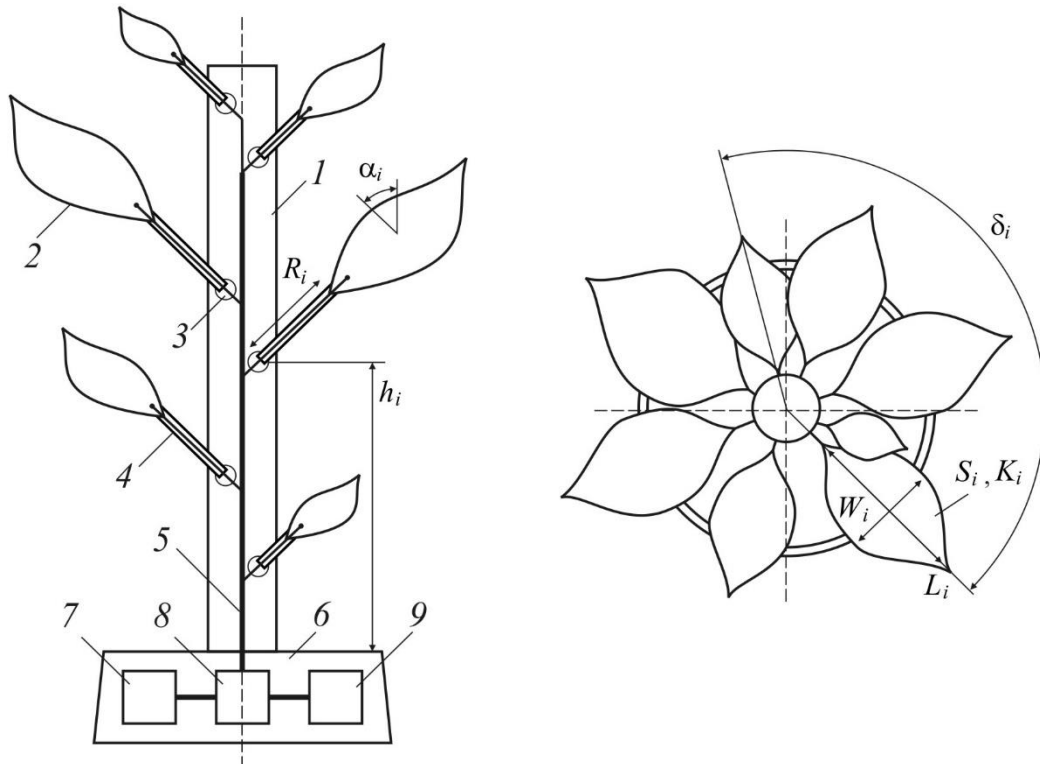


Рисунок 2. Устройство натурной модели растения и моделируемые параметры  
 Figure 1. Design of a full-scale plant model and modelled parameters

Модель содержит вертикально расположенный стержень 1, имитирующий стебель реального растения. Искусственные листья 2 крепятся на стержне с помощью фиксаторов 3 через гибкие звенья 4. Верхняя поверхность каждого листа выполнена из фоточувствительного материала и электрически присоединена к отдельным электрическим проводникам 5. В подставке 6 размещены блок питания 7, микропроцессор 8 и блютуз 9. Внутри подставки электрические проводники присоединены к соответствующим входам аналого-цифрового преобразователя микропроцессора. У каждого  $i$ -го листа размеры (длина  $L_i$  и ширина  $W_i$ ), форма (коэффициент формы  $K_i$ ), площадь  $S_i$ , длина черешка  $R_i$ , углы его наклона  $\alpha_i$  и поворота  $\delta_i$  относительно стержня, высоты фиксаторов на стержне  $h_i$  соответствует виду, возрастному состоянию и условиям выращивания моделируемого растения.

Модель работает следующим образом. Включают внутренний блок питания 7, расположенный в подставке 6, и размещают модель в условия световой среды в соответствии с планом эксперимента. Световой поток, падающий на расположенные определенным образом в пространстве листья (в соответствии со структурой кроны моделируемого растения), преобразуется в электрические сигналы в фоточувствительном материале, нанесенном на верхнюю поверхность листьев 2. Эти сигналы пропорциональны падающему на каждый лист световому потоку и учитывают расположение и затененность листьев. Далее сигналы передаются по электрическим проводникам 5 на входы аналого-цифрового преобразователя. Под управлением микропроцессора 8 происходят преобразование сигналов и передача на внешнее устройство через блютуз 9.

В соответствии с полученными биометрическими данными растений (табл. 1) изготовили несколько натуральных моделей растения перца.



Таблица 1. Биометрические параметры растений перца (средние значения)  
 Table 1. Biometrics of pepper plants (mean values)

Номер листа $i$	Размеры листа, мм		Площадь $S_i$ , см <sup>2</sup>	Форма $K_i$ , отн.ед.	Длина черешка, $R_i$ , мм	Угол наклона $\alpha_i$ , град.	Угол поворота $\delta_i$ , град.	Высота узла $h_i$ , мм
	Длина $L_i$	Ширина $W_i$						
1	138	53	27.8	2.65	36	-15	0	30
2	147	59	35.6	2.42	34	-13	178	35
3	150	70	49.7	2.11	23	1	283	51
4	152	69	51.3	2.04	22	3	65	58
5	117	55	36.0	1.81	12	15	224	63
6	94	47	25.9	1.72	9	29	358	65
7	62	30	10.4	1.79	7	42	121	68
8	45	21	6.2	1.51	3	70	273	70

Каждая модель растения содержала восемь листьев ( $n=8$ ), все размеры соответствовали экспериментально найденным параметрам. Естественный статистический разброс учитывали введением того же коэффициента вариации, что и у соответствующего параметра (10...15%).

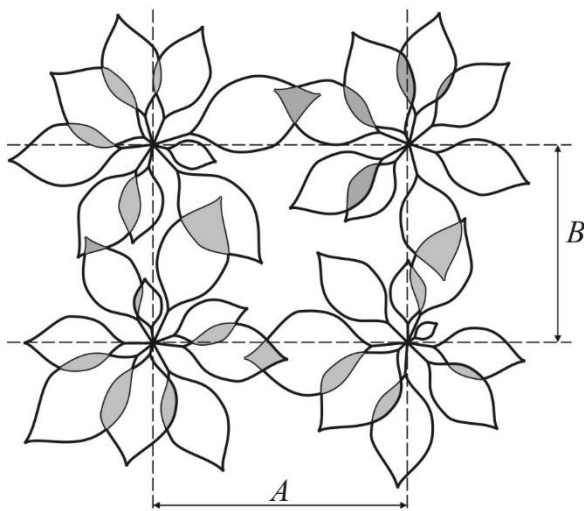


Рисунок 3. Пример компоновки растений

Figure 3. Example of plant layout

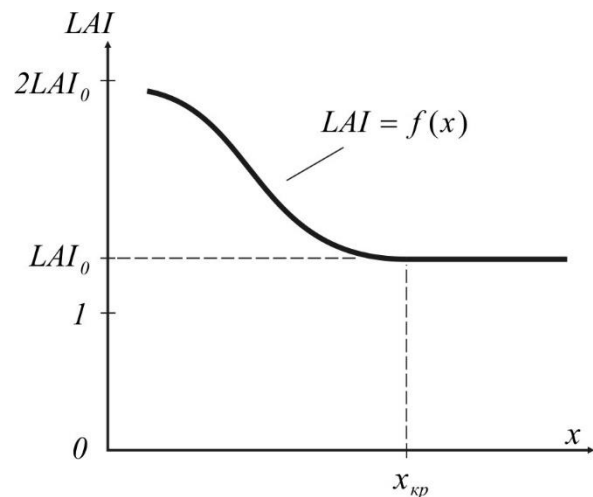


Рисунок 4. Зависимость величины LAI от расстояния между растениями

Figure 4. Dependence of the LAI on the distance between plants

Предельным минимальным для величины  $LAI$  является единичное значение (рис. 4). В этом случае  $S_l = S_{кр}$ , что наблюдается при горизонтально расположенных, не перекрывающих один другого листьях. Наклон листьев и их взаимное перекрытие увеличивают значение индекса до некоторого значения  $LAI_0$  (больше единицы). В проведенном эксперименте у отдельного растения перца  $LAI_0 = 1,4...1,6$  отн. ед. Для ценоза из нескольких растений величина  $LAI$  зависит от расстояния между растениями. На рисунке 3 это расстояние между рядами  $A$  и между растениями в ряду  $B$ . Взаимное перекрытие крон не проявляется при значениях расстояния, превышающих некоторое критическое  $x_{кр}$  (условный диаметр кроны). При меньших значениях расстояния взаимное перекрытие начинает

сказываться, и зависимость индекса от расстояния определяется некоторой функцией  $LAI = f(x)$ . Для двух растений в предельном случае максимальное значение этого индекса стремится к удвоенному значению  $LAI$  отдельных растений.

**Заключение.** Разработанная модель может быть использована в учебном процессе и научных исследованиях по светокультуре при изучении закономерностей формирования световой среды растений и ее оптимизации в ценозе. Результатами применения модели являются сокращение времени исследований и затрат на их проведение, повышение достоверности результатов и удобства в работе. Применение модели позволяет обеспечить повышение качества исследований по светокультуре, в т. ч. при испытании источников света, более точной имитации свойств живого растения в его взаимодействии со световым потоком. Рассмотренный подход позволяет оптимизировать размещение контейнеров с растениями при их выращивании, с тем чтобы, с одной стороны, размещение было максимально компактным, с другой – не происходило недопустимое экранирование светового потока листьями соседних растений.

### Список источников литературы

1. Rpa P., Dauzat J., Pallas B., Lamour J., Verley P., Caliman J. P., et al. Designing oil palm architectural ideotypes for optimal light interception and carbon assimilation through a sensitivity analysis of leaf traits // *Annals of Botany*. – 2018. – Vol. 121. – P. 909–926. – doi: 10.1093/aob/mcx161.
2. Rundquist D., Gitelson A., Leavitt B., Zyguelbaum A., Perk R., Keydan G. Elements of an Integrated Phenotyping System for Monitoring Crop Status at Canopy Level // *Agronomy*. – 2014. – Vol. 4. – P. 108–123.
3. Novelli F., Spiegel H., Sanden T., Vuolo F. Assimilation of Sentinel-2 Leaf Area Index Data into a Physically-Based Crop Growth Model for Yield Estimation // *Agronomy*. – 2019. – Vol. 9 (5). – P. 255. – doi: 10.3390/agronomy9050255.
4. Casa R., Upreti D., Pelosi F. Measurement and Estimation of Leaf Area Index (LAI) Using Commercial Instruments and Smartphone-Based Systems // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* – 2019. – Vol. 275, 012006.
5. Francone C., Pagani V., Foi M., Cappelli G., Confalonieri R. Comparison of Leaf Area Index Estimates by Ceptometer and PocketLAI Smart App in Canopies with Different Structures // *Field Crops Research*. – 2014. – Vol. 155. – P. 38–41. – doi: 10.1016/j.fcr.2013.09.024.
6. Yan G., Hu R., Luo J., Weiss M., Jiang H., Mu X., Xie D., Zhang W. Review of Indirect Optical Measurements of Leaf Area Index: Recent Advances, Challenges, and Perspectives // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2019. – Vol. 265. – P. 390–411.
7. Salter W.T., Merchant A.M., Gilbert M.E., Buckley T.N. PARbars: Cheap, Easy to Build Ceptometers for Continuous Measurement of Light Interception in Plant Canopies // *Journal of Visualized Experiments*. – 2019. – Vol. 147, e59447. – doi:10.3791/59447.
8. Pokovai K., Fodor N. Adjusting Ceptometer Data to Improve Leaf Area Index Measurements. *Agronomy*. – 2019. – Vol. 9 (12), 866. – doi:10.3390/agronomy9120866.
9. Hoon K. J., Woo L.J., In A. T., Hwa S. J., Sub P. K., Eek S. J. Sweet pepper (*Capsicum Annuum L.*) canopy photosynthesis modeling using 3D plant architecture and light ray-tracing // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7, 1321. – doi: 10.3389/fpls.2016.01321.
10. Zhang Y., Yang J., van Haften M., Li L., Lu S., Wen W., Zheng X., Pan J., Qian T. Interactions between Diffuse Light and Cucumber (*Cucumis Sativus L.*) Canopy Structure, Simulations of Light Interception in Virtual Canopies // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – P. 602. – <https://doi.org/10.3390/agronomy12030602>.
11. Kim D., Kang W.H., Hwang I., Kim J., Kim J.H., Park K.S., Son J.E. Use of Structurally-Accurate 3D Plant Models for Estimating Light Interception and Photosynthesis of Sweet Pepper (*Capsicum Annuum*) Plants // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2020. – Vol. 177, 105689.
13. Tang L., Yin D., Chen C., Yu D., Han W. Optimal Design of Plant Canopy Based on Light Interception: A Case Study With Loquat // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – Vol. 10. – P. 364. – doi: 10.3389/fpls.2019.00364.

14. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Мишанов А.П., Маркова А.Е. Цифровой двойник растения в светокультуре на примере перца (*Capsicum Annuum L.*) в рассадный период // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 3 (108). – С. 13–33.

### References

1. Rpa, P., Dauzat, J., Pallas, B., Lamour, J., Verley, P. and Caliman, J. P., et al. (2018), “Designing oil palm architectural ideotypes for optimal light interception and carbon assimilation through a sensitivity analysis of leaf traits”, *Ann. Bot.*, vol. 121, pp. 909–926. doi: 10.1093/aob/mcx161.
2. Rundquist, D., Gitelson, A., Leavitt, B., Zyguelbaum, A., Perk, R. and Keydan, G. (2014), “Elements of an Integrated Phenotyping System for Monitoring Crop Status at Canopy Level”, *Agronomy*, vol. 4, pp. 108–123.
3. Novelli, F., Spiegel, H., Sanden, T. and Vuolo, F. (2019), “Assimilation of Sentinel-2 Leaf Area Index Data into a Physically-Based Crop Growth Model for Yield Estimation”, *Agronomy*, vol. 9(5), 255. doi: 10.3390/agronomy9050255.
4. Casa, R., Upreti, D. and Pelosi, F. (2019), “Measurement and Estimation of Leaf Area Index (LAI) Using Commercial Instruments and Smartphone-Based Systems”, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 275, 012006.
5. Francone, C., Pagani, V., Foi, M., Cappelli, G. and Confalonieri, R. (2014), “Comparison of Leaf Area Index Estimates by Ceptometer and PocketLAI Smart App in Canopies with Different Structures”, *Field Crop. Res.*, vol. 155, pp. 38–41.
6. Yan, G., Hu, R., Luo, J., Weiss, M., Jiang, H., Mu, X., Xie, D. and Zhang, W. (2019), “Review of Indirect Optical Measurements of Leaf Area Index: Recent Advances, Challenges, and Perspectives”, *Agric. For. Meteorol.*, vol. 265, pp. 390–411.
7. Salter, W.T., Merchant, A.M., Gilbert, M.E. and Buckley, T.N. (2019), “PARbars: Cheap, Easy to Build Ceptometers for Continuous Measurement of Light Interception in Plant Canopies”, *J. Vis. Exp.*, vol. 147), e59447, doi:10.3791/59447.
8. Pokovai, K. and Fodor, N. (2019), “Adjusting Ceptometer Data to Improve Leaf Area Index Measurements”, *Agronomy*, vol. 9(12), 866, doi:10.3390/agronomy9120866.
9. Hoon, K.J., Woo, L.J., In, A.T., Hwa, S.J., Sub, P.K. and Eek, S.J. (2016), “Sweet pepper (*Capsicum Annuum L.*) canopy photosynthesis modeling using 3D plant architecture and light ray-tracing”, *Front. Plant Sci.*, vol. 7, 1321. doi: 10.3389/fpls.2016.01321.
10. Zhang, Y., Yang, J., van Haaften, M., Li, L., Lu, S., Wen, W., Zheng, X., Pan, J. and Qian, T. (2022), “Interactions between Diffuse Light and Cucumber (*Cucumis Sativus L.*) Canopy Structure, Simulations of Light Interception in Virtual Canopies”, *Agronomy*, vol. 12, 602. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030602>.
11. Kim, D., Kang, W.H., Hwang, I., Kim, J., Kim, J.H., Park, K.S. and Son, J.E. (2020), “Use of Structurally-Accurate 3D Plant Models for Estimating Light Interception and Photosynthesis of Sweet Pepper (*Capsicum Annuum*) Plants”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 177, 105689.
12. Tang, L., Yin, D., Chen, C., Yu, D. and Han, W. (2019), “Optimal Design of Plant Canopy Based on Light Interception: A Case Study With Loquat”, *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, 364. doi: 10.3389/fpls.2019.00364.
13. Rakutko E.N., Rakutko S.A., Mishanov A.P. and Markova A.E., (2021), Tsifrovoy dvoynik rasteniya v svetokult'ure na primere peresa (*Capsicum Annuum L.*) v rassadnyi period [Digital twin of a plant in greenhouse horticulture: case study of pepper (*Capsicum Annuum L.*) in transplant period], *AgroEkoInzheneriya*, no. 3 (108), pp. 13–33.

### Сведения об авторах

**Ракутько Елена Николаевна** – научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, spm-код: 1427-3360.

**Ракутько Сергей Анатольевич** – доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, spm-код: 5103-4590.

**Васькин Александр Николаевич** – старший преподаватель кафедры автоматике, физики и математики института энергетике и природопользования, Брянский государственный аграрный университет, spin-код: 6949-2844.

#### Information about the authors

**Rakutko Elena Nikolaevna** – researcher, Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, spin-код: 1427-3360.

**Rakutko Sergei Anatolievich** – DSc (Engineering), chief researcher, Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, spin-код: 5103-4590.

**Vaskin Alexander Nikolaevich** – Senior Lecturer, Department of Automation, Physics and Mathematics of Institute of Energy and Nature Management, FSBEI HE “Bryansk State Agrarian University”, spin-код: 6949-2844.

**Авторский вклад.** Все авторы статьи принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и поиске литературы. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

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

**Authors’ contribution.** All authors of this paper have directly participated in the study planning and execution, and literature survey. All authors have read and approved the final version of the paper submitted.

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

*Статья поступила в редакцию 30.08.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 20.09.2022 г.*

*The article was submitted 01.08.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 20.09.2022.*

Научная статья

УДК 631.316.022

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-140-149

### ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИЙ ТУКОВЫСЕВАЮЩЕЙ АППАРАТ ДЛЯ КУЛЬТИВАТОРА-РАСТЕНИЕПИТАТЕЛЯ

**Алдошин Николай Васильевич<sup>1</sup>, Худайкулиев Ражаббай Рузматович<sup>2</sup>,  
Курамбоев Бахтиёр Ражабович<sup>3</sup>, Уринов Азиз Пардаевич<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127550, [naldoshin@yandex.ru](mailto:naldoshin@yandex.ru);

<https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

<sup>2</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [PhD.mr.Urinov@mail.ru](mailto:PhD.mr.Urinov@mail.ru)

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Республики Узбекистан, [Waxtier.67@mail.ru](mailto:Waxtier.67@mail.ru)

<sup>4</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [PhD.mr.Urinov@mail.ru](mailto:PhD.mr.Urinov@mail.ru)

**Реферат.** При работе широкозахватных культиваторов-растениепитателей на подкормке растений возникает необходимость обеспечения равномерного внесения минеральных удобрений различными секциями машины. Целью статьи является обоснование конструкции установки и разработка оборудования при внесении твердых минеральных удобрений во время подкормки растений культиваторами-растениепитателями. Решение данного вопроса связано с реализацией следующих задач: изучение свойств вносимых минеральных удобрений, создание экспериментальной установки, проведение экспериментальных исследований по обоснованию конструкции и определению качественных показателей работы при проведении подкормки растений. Созданная конструкция экспериментальной установки позволяет производить высев удобрения при различных скоростях вращения вала высевающего аппарата, регулировать величину зазора между клапаном и высевающей катушкой. Исследованы высевающие катушки длиной 250 мм, диаметром 52 мм, с разным количеством ребер – 2, 4, 6, 8 и 10 при изменении их частоты вращения в пределах 11...25 мин<sup>-1</sup>. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее предпочтительной для работы широкозахватных культиваторов-растениепитателей является пневмораспределительная система с центральным высевом твердых минеральных удобрений и последующим их пневмотранспортированием к отдельным секциям орудия. Установлено, что для обеспечения постоянства нормы внесения удобрений при изменении скорости движения агрегата привод туковысевающей катушки дозирующего аппарата следует осуществлять от опорного колеса культиватора-растениепитателя. Наилучшее качество работы машины обеспечивает использование туковысевающей катушки с шестью ребрами. Изменение зазора между высевающей катушкой и клапаном от 1 мм до 3 мм практически не влияет на норму внесения удобрений. Увеличение частоты вращения высевающей катушки ведет к равномерному возрастанию количества вносимых удобрений.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, норма внесения удобрений, междурядная обработка, культиваторный агрегат

**Цитирование.** Алдошин Н.В., Худайкулиев Р.Р., Курамбоев Б.Р., Уринов А.П. Пневмомеханический туковысевающий аппарат для культиватора-растениепитателя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 140–149. doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-140-149.

## PNEUMOMECHANICAL TOW-RAISING APPARATUS FOR CULTIVATOR-PLANT FEEDER

Nikolay V. Aldoshin<sup>1</sup>, Rajabbai R. Khudaikuliye<sup>2</sup>,  
Bakhtiyor R. Kuramboev<sup>3</sup>, Aziz P. Urinov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University-K.A. Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya str., Moscow, Russia, 127550, naldoshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8673-0885>

<sup>2</sup>Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures named after M.T. Urazbayev of the Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, PhD.mr.Urinov@mail.ru

<sup>3</sup>Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization of the Republic of Uzbekistan, Baxtier.67@mail.ru

<sup>4</sup>Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures named after M.T. Urazbayev of the Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, PhD.mr.Urinov@mail.ru

**Abstract.** When working with wide-range cultivators-plant feeders on top dressing of plants, it becomes necessary to ensure uniform application of mineral fertilizers by various sections of the machine. The purpose of the article is to substantiate and develop equipment for the application of solid mineral fertilizers during plant fertilization by cultivators-plant feeders. The solution of this

issue is connected with the implementation of the following tasks: the study of the properties of applied mineral fertilizers, the creation of an experimental installation, conducting experimental studies to substantiate the design and determine the quality indicators of work during plant fertilization. The created design of the experimental plant allows you to sow fertilizer at different speeds of rotation of the shaft of the seeding apparatus, adjust the size of the gap between the valve and the seeding coil. Seeding coils with a length of 250 mm, a diameter of 52 mm, with a different number of ribs – 2, 4, 6, 8 and 10 with a change in their rotational speed within 11 were studied...25 min<sup>-1</sup>. As a result of the conducted research, it was found that the most preferable for the operation of wide-range cultivators-plant feeders is a pneumatic distribution system with central seeding of solid mineral fertilizers and their subsequent pneumatic transportation to separate sections of the tool. It is established that in order to ensure the constancy of the fertilizer application rate when the speed of the unit changes, the drive of the towering coil of the metering device should be carried out from the support wheel of the cultivator-plant feeder. The best quality of the machine operation is ensured by the use of a tow-raising coil with six ribs. A change in the gap between the seeding coil and the valve from 1 mm to 3 mm practically does not affect the rate of fertilization. Increasing the rotation speed of the seed wheel leads to a uniform increase in the amount of fertilizer to be applied.

**Keywords:** *mineral fertilizers, fertilizer application rate, row-to-row processing, cultivator unit*

**Citation.** Aldoshin, N.V., Khudaikuliyev, R.R., Kurambaev, B.R., Urinov, A.P. (2022), “Pneumomechanical tow-raising apparatus for cultivator-plant feeder”, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 140–149, doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-140-149.

**Введение.** В настоящее время большое внимание уделяется созданию широкозахватных культиваторов-растениепитателей для универсально-пропашных тракторов тягового класса 2. Использование таких машин позволяет увеличивать производительность работ на междурядной обработке растений пропашных культур [1; 2; 3]. Для повышения маневренности агрегатов, обеспечения транспортирования широкозахватных машин по дорогам общего назначения они изготавливаются в исполнении, обеспечивающем быстрый их перевод из рабочего положения в транспортное и наоборот. В этом случае рама машин складывается или раскладывается при помощи гидравлической системы трактора за короткий промежуток времени [4].

Применение складывающейся конструкции рамы таких машин вызывает определенные требования к системе внесения минеральных удобрений при подкормке растений. Создание широкозахватных агрегатов на базе складывающейся рамы с механическими тукораспределительными устройствами сложно. Использование пневматических систем внесения удобрений имеет специфику гравитационного транспортирования материала по трубопроводам от высевающего аппарата к заделывающим рабочим органам [5; 6; 7].

Создание бункера для минеральных удобрений шириной, равной захвату машины, увеличивает металлоемкость конструкции, усложняет складывание рамы и снижает маневренность агрегата. Использование многосекционного бункера в широкозахватных агрегатах усложняет привод высевающих аппаратов культиватора-растениепитателя и затрудняет заправку секций бункеров удобрениями.

В данном случае наиболее перспективным направлением создания систем для внесения минеральных удобрений широкозахватными культиваторами-растениепитателями на междурядной обработке пропашных культур является использование пневмораспределительных систем с центральным высевом удобрений и последующим их пневмотранспортированием [8; 9; 10].

**Цель исследования** – разработка системы внесения туковых минеральных удобрений для широкозахватного 8-рядного культиватора-растениепитателя.

**Материалы и методы.** В качестве прототипа выбрана система внесения удобрений «Турбо Джет Супер 8» с электроприводом и туковым бункером, установленным в центральной части машины (производство Дания).

Для проведения лабораторных исследований высевающего аппарата была изготовлена экспериментальная установка, позволяющая: производить высеv удобрения при различных скоростях вращения вала высевающего аппарата; регулировать величину зазора между клапаном и высевающей катушкой (рис. 1). Установка позволяет в широком диапазоне угловых скоростей высевающего аппарата, проводить исследования по определению нормы внесения удобрений.

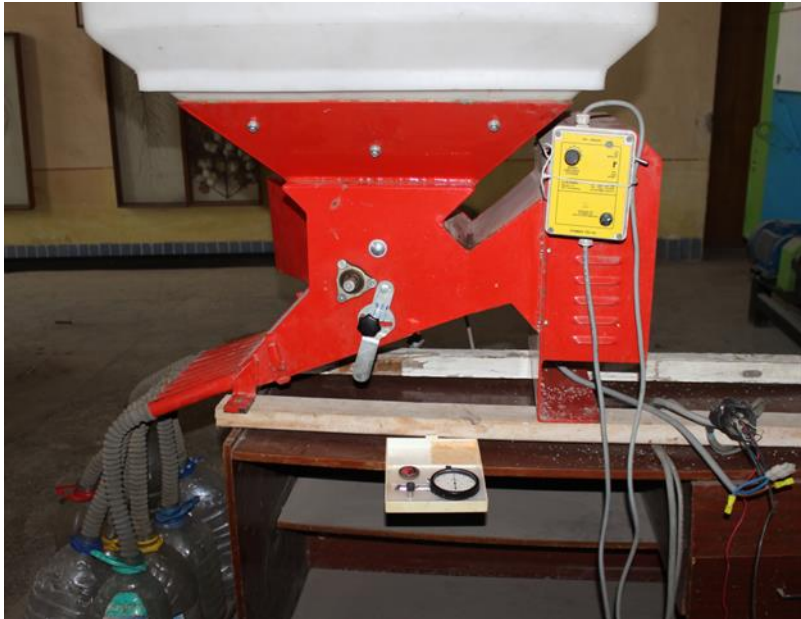


Рисунок 1. Общий вид экспериментального туковысевающего аппарата  
 Figure 1. General view of the experimental tow-raising apparatus

Лабораторная установка состоит из бункера для минеральных удобрений, централизованной пневматической высевающей системы с общим дозатором и механическим распределителем удобрений по восьми туковым сошникам через тукопроводы, мерных ёмкостей в количестве 8 шт., блока управления оборотами высевающего вала, аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Привод вала туковысевающего аппарата осуществляется при помощи электродвигателя, при варьировании частоты вращения в пределах  $10 \dots 30 \text{ мин}^{-1}$  [11; 12]. В качестве исследуемых минеральных удобрений использовался порошковидный аммафос [13]. Характеристика используемых удобрений представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика используемых минеральных удобрений  
 Table 1. Characteristics of the mineral fertilizers

Наименование показателей	Значение показателей по данным испытаний
Вид удобрений	Гранулированный аммофос
Насыпная плотность, $\text{кг/м}^3$	999,06
Влажность удобрений, %	5
Гранулометрический состав, %:	
– менее 1,0 мм	7,27
– 1,0–2,0 мм	70,74
– более 2,0 мм	21,99

Определение показателей работы туковывсевающих аппаратов проводилось по ГОСТ 31345-2007 «Сеялки тракторные. Методы испытаний» и ГОСТ 28714-2007 «Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний» [10] с трехкратной повторностью. Определялись неравномерность высева удобрений и норма внесения. Варьируемыми параметрами являлись частота вращения туковывсевающей катушки (11, 21, 25 мин<sup>-1</sup>) и зазор между катушкой и клапаном (1, 2 и 3 мм).

Исследовались различные варианты конструкции туковывсевающих катушек. Базовая катушка имеет 10 ребер с наклонным расположением и длину 250 мм. Для предохранения катушки от коррозии и залипания удобрениями наружная поверхность катушек высевающего аппарата изготовлены из фторопласта. Экспериментальные катушки имеют различное количество прямых ребер 2, 4, 6, 8, 10 шт. Диаметр катушек 52 мм (рис. 2).



Рисунок 2. Варианты экспериментальных туковывсевающих катушек  
 Figure 2. Variants of experimental towering coils

При этом норма внесения удобрений для каждого режима работы аппаратов определялась путем снятия минутного их высева с последующим пересчетом на погектарное внесение согласно следующей формуле [7]:

$$Q = \frac{10q_m}{V_m B_m},$$

где  $q_m$  – пропускная способность высевающего аппарата, кг/ч;

$B_m$  – ширина захвата агрегата, м;

$V_m$  – скорость движения агрегата, км/ч.

**Результаты исследований и обсуждение.** Результаты исследований внесения минеральных удобрений базовой туковывсевающей катушкой при варьировании ее частот вращения и зазоров между катушкой и клапаном, а также скоростей движения агрегата представлены в табл. 2. Опыты проводились при зазорах между высевающей катушкой и клапаном, 1, 2 и 3 мм и частотах вращения туковывсевающей катушки 11, 21 и 25 мин<sup>-1</sup>.



Таблица 2. Норма внесения минеральных удобрений (кг/га) базовой катушкой при различных: скорости движения агрегата, частоте вращения катушки высевающего аппарата, зазоре между высевающей катушкой и клапаном  
 Table 2. The rate of application of mineral fertilizers (kg / ha) by the base coil at different speeds of movement of the unit, and at different rotational speeds of the seeding coil

S, мм	n, мин <sup>-1</sup>	Скорость движения агрегата, км/час					
		3	4	5	6	7	8
1	11	88,0	65,7	52,9	43,8	37,6	32,9
	21	120,6	90,1	72,5	60,1	51,5	45,1
	25	182,8	136,5	110,0	91,0	78,0	68,3
2	11	94,4	70,2	56,8	47,0	40,3	35,3
	21	132,7	98,6	79,9	66,1	56,6	49,6
	25	220,0	163,7	132,5	109,7	94,0	82,3
3	11	126,2	93,8	75,9	62,8	53,8	47,1
	21	222,6	165,5	133,9	110,9	95,0	83,1
	25	282,8	210,2	170,1	140,8	120,7	105,6

S – зазор между высевающей катушкой и клапаном;  
 n – количество оборотов катушки высевающего аппарата

На основании полученных данных построены зависимости нормы внесения удобрений ( $Q_n$ ) от скорости движения агрегата при различных зазорах между высевающей катушкой и клапаном (рис. 3).

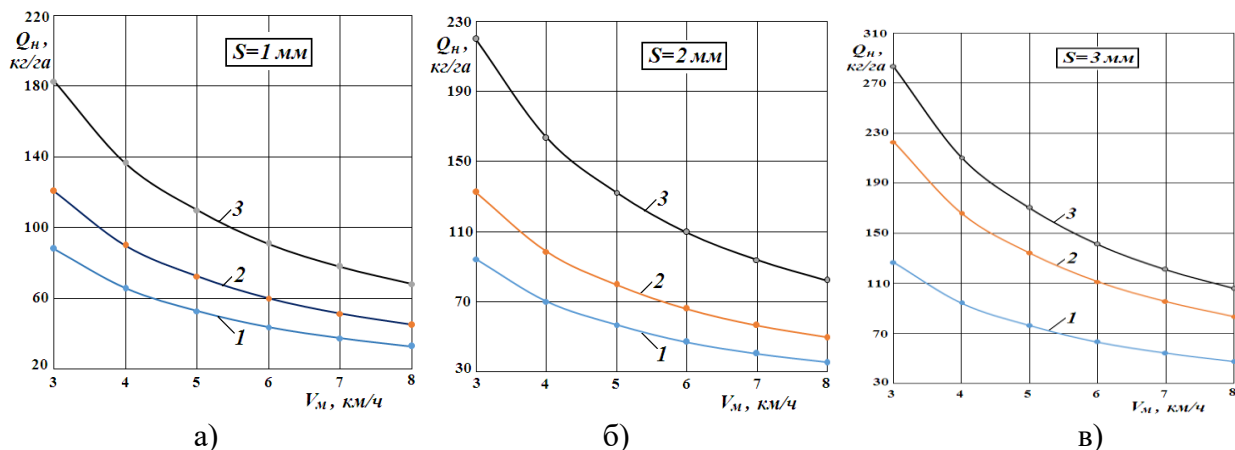


Рисунок 3. Зависимости нормы внесения удобрений ( $Q_n$ ) от скорости движения агрегата для различных частот вращения катушки

1 – 11 мин<sup>-1</sup>, 2 – 21 мин<sup>-1</sup> и 3 – 25 мин<sup>-1</sup>: а) зазор S = 1 мм; б) зазор S = 2 мм; в) зазор S = 3 мм

Figure 3. Dependences of the fertilizer application rate ( $Q_n$ ) on the speed of the unit for different rotation speeds of the coil 1 – 11 min<sup>-1</sup>, 2 – 21 min<sup>-1</sup> and 3 – 25 min<sup>-1</sup>: а) gap S = 1 mm; б) gap S = 2 mm; в) gap S = 3 mm

Из графика (рис. 3) видно, что при высеве порошковидного аммафоса, при зазоре между катушкой и клапаном  $S=1$  мм и частоте вращения туковывсевающей катушки 11 мин<sup>-1</sup>, с увеличением скорости агрегата от 3 до 8 км/час, норма внесения удобрения  $Q_n$  уменьшается с 88 до 32 кг/га. При частоте вращения катушки 21 мин<sup>-1</sup> с увеличением скорости агрегата от 3 до 8 км/час норма внесения удобрения  $Q_n$  уменьшается с 120 до 45 кг/га, при частоте вращения катушки 25 мин<sup>-1</sup> с увеличением скорости агрегата от 3 до 8 км/час норма внесения удобрения уменьшается с 182 до 68 кг/га. С увеличением частоты вращения высевающей катушки, при скорости агрегата  $V_m = 3$  км/час норма внесения удобрений  $Q_n$  увеличивается пропорционально в пределах от 88 до 183 кг/га, при скорости агрегата  $V_m = 8$  км/час норма внесения удобрения  $Q_n$  увеличивается пропорционально от 32 до 68 кг/га. Аналогичная картина наблюдается при других зазорах между высевающей катушкой и клапаном.

Исследуемый пневмомеханический туковсевающий аппарат обеспечивает норму внесения удобрений от 33 до 280 кг/га с неравномерностью высева по ширине агрегата более 15%, что не соответствует агротехническим требованиям. С увеличением скорости агрегата норма внесения удобрений пропорционально уменьшается, а с увеличением зазора между высевающей катушкой и клапаном увеличивается.

Анализ результатов исследования показал, что туковсевающий аппарат обладает одним существенным недостатком – система очень чувствительна к изменению поступательной скорости агрегата, т. е. с увеличением скорости агрегата норма внесения удобрения на гектар уменьшается, с уменьшением скорости агрегата – увеличивается. Для обеспечения нормы внесения удобрений согласно агротехническим требованиям (от 40 до 350 кг/га) необходимо изменить конструкцию туковсевающего аппарата для обеспечения полной корреляции между скоростью движения агрегата и нормой внесения удобрений. В связи с этим в конструкции широкозахватного культиватора-растениепитателя предлагается использовать привод катушечного высевающего аппарата от опорно-приводных колес орудия.

Для устранения неравномерности внесения минеральных удобрений проведены исследования с различными видами туковсевающих катушек (см. рис. 2). Предварительные испытания показали, что норма внесения удобрений зависит от количества желобков (ребер), рабочей ширины катушки и угловой ее скорости. Экспериментальные катушки имеют 2, 4, 6, 8 и 10 ребер с параллельным их расположением относительно оси. Диаметр и длина соответствуют базовой катушке. Испытания экспериментальных катушек проводилось на тех же режимах, что базовой. Равномерность внесения удобрений оценивались среднеквадратическим отклонением. Показатели качества работы пневмомеханического аппарата с экспериментальными туковсевающими катушками приведены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели работы пневмомеханического туковсевающего аппарата  
 Table 3. Performance indicators of the pneumomechanical tow-raising apparatus

Z, шт		n, мин <sup>-1</sup>	q, кг/час		Н <sub>y</sub> , %	
			S=1мм	S=3 мм	S=1мм	S=3 мм
2		11	162,5	135	11,28	11,86
		21	305	390	9,25	19,36
		25	547,5	607,5	9,14	14,26
4		11	202,5	205	11,77	8,04
		21	395	367,5	9,36	8,68
		25	647,5	675	8,43	7,48
6		11	217,5	225	7,77	9,69
		21	410	417,5	9,81	8,75
		25	622,5	675	7,63	7,16
8		11	212,5	227,5	8,96	8,43
		21	402,5	440	7,84	11,5
		25	622,5	660	5,61	7,85
10		11	80	117,5	14,32	16,04
		21	180	242,5	11,31	11,49
		25	305	350	13,67	10,79

S – Зазор между высевающим катушки и клапаном, n – число оборотов катушки высевающего вала, Н<sub>y</sub> – неравномерность высева удобрений, Z – количество ребер на катушке, q – пропускная способность аппарата.

Анализ табл. 3 показывает, что с увеличением количества ребер с двух до восьми при количестве оборотов катушки 11 мин<sup>-1</sup> пропускная способность высевающего аппарата составляет 135–227 кг/час, при количестве оборотов катушки 21 мин<sup>-1</sup> – 305–417 кг/час, при количестве оборотов катушки 25 мин<sup>-1</sup> – 547–660 кг/час. При изменении зазоров между катушкой и клапаном от 1 до 3 мм пропускная способность аппарата не изменилась в

существенных пределах. Наименьшая неравномерность внесения удобрений у катушки с 6 ребрами. Она составляет 7,16–9,81 %. При количестве ребер 10 шт. пропускная способность аппарата уменьшается и показатели качества работы аппарата ухудшаются.

Норма внесения удобрений в зависимости от скорости движения агрегата и параметров туковывсевающего аппарата приведена в табл. 4.

**Таблица 4. Норма внесения удобрений (кг/га) в зависимости от скорости движения агрегата и параметров туковывсевающего аппарата**  
**Table 4. The rate of fertilizer application (kg/ha) depending on the speed of the unit and the parameters of the tow-raising apparatus**

S, мм	n, мин <sup>-1</sup>	Z = 2 шт					
		Скорость движения агрегата, км/час					
		3	4	5	6	7	8
1	11	75,23	56,42	45,13	37,61	32,2	28,2
	21	141,2	105,9	84,7	70,6	60,5	53,0
	25	253,5	190,1	152,0	126,7	108,6	95,1
3	11	62,5	46,9	37,5	31,3	26,8	23,4
	21	180,6	135,4	108,3	90,3	77,4	67,7
	25	281,3	210,9	168,8	140,6	120,5	105,5
Z = 4 шт							
1	11	93,8	70,3	56,3	46,9	40,2	35,2
	21	182,9	137,2	109,7	91,4	78,4	68,6
	25	299,7	224,8	179,8	149,9	128,5	112,4
3	11	94,9	71,2	56,9	47,5	40,7	35,6
	21	170,1	127,6	102,1	85,1	72,9	63,8
	25	312,5	234,4	187,5	156,3	133,9	117,2
Z = 6 шт							
1	11	100,7	75,5	60,4	50,3	43,2	37,8
	21	189,8	142,4	113,9	94,9	81,3	71,2
	25	288,2	216,1	172,9	144,1	123,5	108,1
3	11	104,1	78,1	62,5	52,1	44,6	39,1
	21	193,3	145,0	116,0	96,7	82,8	72,5
	25	312,5	234,4	187,5	156,3	133,9	117,2
Z = 8 шт							
1	11	96,4	73,4	59,0	49,2	42,2	36,9
	21	186,3	139,7	111,8	93,2	79,9	69,9
	25	288,2	216,1	172,9	144,1	123,5	108,1
3	11	105,7	79,0	63,2	52,7	45,1	39,5
	21	203,7	152,8	122,2	101,8	87,3	76,4
	25	305,6	229,2	183,3	152,8	131,0	114,6
Z = 10 шт							
1	11	37,0	27,8	22,2	18,5	15,9	13,9
	21	83,3	62,5	50,0	41,7	35,7	31,3
	25	141,2	105,9	84,7	70,6	60,5	53,0
3	11	54,4	40,8	32,6	27,2	23,3	20,4
	21	112,3	84,2	67,4	56,1	48,1	42,1
	25	162,1	121,5	97,2	81,0	69,4	60,8

S – зазор между катушкой высевяющего аппарата и клапаном; n – количество оборотов катушки высевяющего аппарата; Z – количество ребер на катушке.

Результаты испытаний при количестве ребер катушки высевяющего аппарата 2, 4, 6 и 8 показали, что с увеличением ее частоты вращения от 11 до 25 мин<sup>-1</sup> происходит равномерное увеличение нормы внесения минеральных удобрений. С увеличением зазора от 1 до 3 мм между высевяющей катушкой и клапаном изменений нормы внесения удобрений практически не происходит.

### Выводы.

1. Для внесения минеральных удобрений широкозахватными культиваторами-растениепитателями предпочтительно использовать распределительные системы с центральным высевом удобрений и последующим их пневмотранспортированием.
2. Для обеспечения постоянства нормы внесения удобрений при изменении скорости движения агрегата привод туковысевающей катушки следует осуществлять от опорного колеса культиватора-растениепитателя.
3. Целесообразно использовать туковысевающую катушку с шестью ребрами, обеспечивающую наилучшую равномерность внесения удобрений.

### Список использованной литературы

1. Гольдяпин В.Я. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом / В.Я. Гольдяпин, Н.П. Мишуров, В.Ф. Федоренко, С.А. Соловьев, В.И. Балабанов, Н.В. Алдошин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 172 с. – ISBN 978-5-7367-1595-4.
2. Алдошин Н. В. Разработка почвообрабатывающего орудия для бахчеводства / Н.В. Алдошин, Ф.М. Маматов, И.И. Исмаилов, Х.А. Файзуллаев. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. – 130 с. – ISBN 978-5-00166-380-5.
3. Максимов М. М. Планирование, экономика и организация производства на предприятиях АПК: нормативно-справочные материалы / М.М. Максимов, П.И. Дугин, А.И. Голубева, М.П. Шаталов, В.А. Смелик и др. / под ред. М.М. Максимова. – Ярославль, 2004. – 468 с.
4. Кем А.А. Пневмомеханическая сеялка для подпочвенно-разбросного посева зерновых культур / А.А. Кем, Е.В. Красильников // Теоретический и научно-практический журнал Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 12. – С. 53–54.
5. Шарафиев Л.З. Разработка и обоснование параметров распределителя семян пневматической сеялки централизованного высева: дисс. канд. техн. наук. – Казань, 2011. – 180 с.
6. Soliev X. Mathematic model course stability wide-coverage sowing and cultivator machine-tractor aggregate / X. Soliev, M. Tukhtaboev // European science review. – 2017. – № 11-12. – P. 143-146.
7. Бердышев В.Е. Сельскохозяйственные машины. Практикум: учебное пособие / В.Е. Бердышев, Л.И. Ерошенко, А.Б. Калинин, М.А. Новиков, В.А. Ружьев, В.А. Смелик, И.З. Теплинский; под редакцией М.А. Новикова. – СПб.: Проспект Науки, 2022. – 326 с.
8. Kurambayev B. To a question of justification tuka the sowing device to 8 to a line Cultivator plant to the Feeder / B. Kurambayev, O. Yuldashev, R. Hudaykuliyeu, S. Urmanova, Z. Holmatova // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6. – Issue 4. – P. 8852–8856.
9. Алдошин Н.В. Разработка технологии подготовки почвы к посеву бахчевых культур / Н.В. Алдошин, И.И. Исмаилов // ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. – 2018. – № 6(88). – С.17–23.
10. ГОСТ 28714-2007 Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 39 с.
11. Пневмоцентробежный рассеивающий аппарат / Алдошин Н.В., Лылин Н.А., Панов А.И., Евдокимов Е. В. – Патент РФ № 198595, МПК А01С 15/00, опубл. 17.07.2020 Бюл. № 20.
12. Mirzaev B. Anti-erosion two-stage tillage by ripper / B. Mirzaev, F. Mamatov, N. Aldoshin, M. Amonov // Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019 – Czech University of Life Sciences Prague – Faculty of Engineering. – 2019. – P. 391–395.
13. Дмитриевский Б.А. Свойства, получение и применение минеральных удобрений: учебное пособие / Б.А. Дмитриевский, В.А. Юрьева, В.А. Смелик, И.З. Теплинский, Н.А. Цыганова. – СПб.: Проспект науки, 2019. – 328 с.

### References

1. Golytzipin, V.Ya., Mishurov, N.P., Fedorenko, V.F., Solovyov, S.A., Balabanov, V.I. and Aldoshin, N.V. (2020), *Innovacionnye tehnologii i sel'skhozjajstvennaja tehnika za rubezhom* [Innovative technologies and agricultural machinery abroad], Moscow, FSBI "Rosinformagrotech", 172 p. (in Russian).

2. Aldoshin, N.V., Mamatov, F.M., Ismailov I.I. and Fayzullaev, H.A. (2021), *Razrabotka pochvoobrabatyvayushhego orudija dlja bahchevodstva* [Development of tillage tools for melon growing], M., LLC "Sam Polygraphist", 130 p. (in Russian).
3. Maximov, M.M., Dugin, P.I., Golubeva, A.I., Shatalov, M.P., Smelik, V.A. etc. (2004), *Planirovanie, jekonomika i organizacija proizvodstva na predpriyatijah APK* [Planning, economics and organization of production at agricultural enterprises (normative reference materials), Yaroslavl, 468 p. (in Russian).
4. Kem, A.A. and Krasilnikov, E.V. (2008), Pnevмомеханическая сеялка для подпочвенно-разбросного посева зерновых культур [Pneumomechanical seeder for subsurface scattered sowing of grain crops], *Theoretical and scientific-practical Journal of Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex*, no. 12, pp. 53–54. (in Russian).
5. Sharafiev, L.Z. (2011), *Razrabotka i obosnovanie parametrov raspredelitelja semjan pnevmaticheskoi sejalki centralizovannogo vyseva* [Development and justification of the parameters of the seed distributor of a pneumatic seed drill for centralized seeding], Dissertation of the Candidate of Technical Sciences, Kazan, 180 p. (in Russian).
6. Soliev, H., Tukhtabaev, M. (2017), Mathematical model course stability wide-coverage swing and cultivator machine-tractor aggregate, *European science review*, no. 11–12, pp. 143–146. (in Russian).
7. Berdyshev, V.E., Eroshenko, L.I., Kalinin, A.B., Novikov, M.A., Rushev, Smelik, V.A. and Teplinsky, I.Z. (2022), *Sel'skhozjajstvennye mashiny* [Agricultural machines. Workshop: textbook], St. Petersburg V.A., Prospect Nauki, 326 p. (in Russian).
8. Kurambayev, V., Yuldashev O., Hudaykuliyeu, R., Urmanova, S. and Holmatova, Z. (2019), To a question of justification of the sowing device to 8 to a line Cultivator plant to the Feeder, *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 6, issue 4, February, India, pp. 8852–8856.
9. Aldoshin, N.V. and Ismailov, I.I. (2018), Razrabotka tehnologii podgotovki pochvy k posevu bahchevykh kul'tur [Development of soil preparation technology for sowing melons], *Bulletin of the Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin*, no. 6 (88), pp.17–23. (in Russian).
10. GOST 28714-2007, *Mashiny dlja vnesenija tverdykh mineral'nykh udobrenij* [Machines for applying solid mineral fertilizers. Test methods]. (in Russian).
11. Aldoshin, N.V., Lyalin, N.A., Panov, A.I. and Evdokimov, E.V. (2020), *Pnevmoцентробежный rassevayushhij apparat* [Pneumocentric scattering apparatus], RU, Pat. no. 198595. (in Russian).
12. Mirzoev, B., Mamatov, F., Aldoshin, N. and Amonov, M. (2019), Anti-erosion two-stage tillage by ripper, *Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, Czech University of Life Sciences Prague – Faculty of Engineering*, pp. 391–395. (in Russian).
13. Dmitrevsky, B.A., Yuryeva, Properties, V.A., Smelik, V.A., Teplinsky, I.Z. and Tsyganova, N.A. (2019), *Svoystva, poluchenie i primenenie mineral'nykh udobrenij* [Preparation and application of mineral fertilizers (Textbook)], St. Petersburg, Prospect nauki, 328 p. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Алдошин Николай Васильевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, spm-код: 6032-9021.

**Худайкулиев Ражаббай Рузматович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, научно-исследовательский институт Механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, Scopus Author ID: 57216805293.

**Курамбаев Бахтиёр Ражабович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Республики Узбекистан.

**Уринов Азиз Пардаевич** – аспирант лаборатории «Динамика машин и проблемы технологических процессов», научно-исследовательский институт Механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0003-0729-6513>, Scopus Author ID: 57216811209.

### Information about the authors

**Aldoshin Nikolay Vasilyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Agricultural Machinery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", spin-code: 6032-9021.

**Khudaikuliyev Razhabbai Ruzmatovich** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Deputy Director for Scientific Work, M.T. Urazbayev Research Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Scopus Author ID: 57216805293.

**Kurambayev Bakhtiyor Razhabovich** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Agricultural Mechanization of the Republic of Uzbekistan.

**Urinov Aziz Pardayevich** – postgraduate student of the Laboratory "Dynamics of Machines and Problems of Technological Processes", M.T. Urazbayev Research Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

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

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

*Статья поступила в редакцию 03.07.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 23.09.2022 г.*

*The article was submitted 03.07.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 23.09.2022.*

Научная статья

УДК 621.432.3

doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-149-158

## ЭНТРОПИЙНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Рахимулла Арифуллович Зейнетдинов**

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; zra61@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-6811-5929>

**Реферат.** В статье предлагается термодинамический метод оценки тепловых потерь при анализе эффективности процессов переноса и преобразования химической энергии топлива в камере сгорания поршневого двигателя с учетом диссипативных явлений. При этом рассматриваемая система считается термодинамически открытой с переменным составом, и элементарное приращение экстенсивных величин в надпоршневом пространстве при описании процессов смесеобразования и сгорания проводится путем разделения на приращение в системе с постоянным составом и приращение, связанное с изменением состава.

Целью данных исследований является разработка методики оценки термических КПД термодинамических циклов поршневых двигателей с учетом их неравновесности.

Предлагаемый метод термодинамического анализа теплоиспользования в открытых неравновесных внутрицилиндровых процессах с учетом переменности состава рабочего тела опирается на энтропийный подход. Отмечено, что основными тепломассообменными процессами, продуцирующими энтропию в надпоршневом пространстве, являются: неравновесные процессы тепловыделения с теплоотдачей, теплопроводность, диффузия, диссипативные явления в пограничном слое камеры сгорания и т. д.

Автором проведена дифференциация тепловых потерь в надпоршневом пространстве и определено их влияние на коэффициент выделения теплоты, учитывающий потерю вследствие неполноты сгорания топлива и коэффициент использования теплоты на участке видимого сгорания. При этом минимальное производство энтропии в этих процессах определяет степень их термодинамического совершенства, а также позволяет получить термодинамические критерии возникновения диссипативных явлений и проанализировать методы дальнейшего совершенствования тепломассообменных процессов в надпоршневом пространстве. Показано, что энтропийный анализ термодинамических процессов дает объективную оценку эффективности использования подведенной тепловой энергии. Использование данного метода при анализе процессов преобразования тепловой энергии в надпоршневом пространстве поршневых двигателей позволяет определить индикаторный КПД, учитывающий не только количественную, но и качественную сторону энергетических потерь.

**Ключевые слова:** поршневые двигатели, производство энтропии, камера сгорания, теплота диссипации, тепловыделение, термический КПД

**Цитирование.** Зейнетдинов Р.А. Энтропийная оценка тепловых потерь в камере сгорания поршневых двигателей // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(68). – С. 149–158. doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-149-158.

## ENTROPY ESTIMATION OF HEAT LOSSES IN THE CHAMBER COMBUSTION OF PISTON ENGINES

**Rahimulla A. Zejnetdinov**

Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2,  
Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; zra61@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-6811-5929>

**Abstract.** The article proposes a thermodynamic method for estimating heat losses when analyzing the efficiency of the processes of transferring and converting chemical energy of fuel in the combustion chamber of a piston engine, taking into account dissipative phenomena. At the same time, the system under consideration is considered thermodynamically open with a variable composition and the elementary increment of extensive quantities in the supra-piston space when describing the processes of mixing and combustion is carried out by dividing into an increment in a system with a constant composition and an increment associated with a change in composition.

The purpose of this research is to develop a method for estimating the thermal efficiencies of thermodynamic cycles of piston engines, taking into account their nonequilibrium.

The proposed method of thermodynamic analysis of heat utilization in open nonequilibrium intra-cylinder processes, taking into account changes in the composition of the working body, is based on the entropic approach. It is noted that the main heat and mass exchange processes that produce entropy in the overpressure space are nonequilibrium heat release processes with heat release, heat conduction, diffusion, dissipative phenomena in the boundary layer of the combustion chamber, etc.

The author differentiated heat losses in the overpressure space and determined their influence on the heat release coefficient, which takes into account the loss due to incomplete combustion of fuel and the coefficient of heat utilization in the visible combustion section. The minimum entropy production in these processes determines the degree of their thermodynamic perfection and makes it possible to obtain thermodynamic criteria for the occurrence of dissipative phenomena and to analyze methods for further improvement of heat and mass transfer processes in the overpressure space. It is shown that entropic analysis of thermodynamic processes gives an objective assessment of the efficiency of heat input. The use of this method in the analysis of heat energy conversion processes in the overpressure space of piston engines allows to determine the indicator efficiency, taking into account not only the quantitative, but also the qualitative side of energy losses.

**Keywords:** *piston engines, entropy production, combustion chamber, heat dissipation, heat generation, thermal efficiency*

**Citation.** Zejnetdinov, R.A. (2022), “Entropy estimation of heat losses in the chamber combustion of piston engines”, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 149–158. (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-149-158.

**Введение.** Преобразование химической энергии топлива в механическую работу в ДВС является сложным процессом. Его протекание в реальных условиях базируется на фундаментальных закономерностях теплофизики, механики жидкости и газа и связано с возникновением дополнительных тепловых потерь, не учитываемых в равновесной термодинамике. Эффективность поршневых двигателей, в которых происходит преобразование химической энергии в механическую, принято оценивать с помощью индикаторного коэффициента полезного действия, который определяет эффективность идеальных тепловых циклов с обратимыми термодинамическими процессами [1].

Реальные термодинамические процессы преобразования энергии происходят неравновесно и необратимо, поэтому термический КПД реальных процессов  $\eta_T$  меньше идеальных  $\eta_t^u$ . Расчет термических КПД  $\eta_T$  хорошо разработан для поршневых двигателей при анализе обратимых циклов в равновесной термодинамике [2]. Определение реальных термических КПД  $\eta_T$  требует привлечения методов неравновесной термодинамики, в связи с чем при оценке энергетических потерь в необратимых внутрицилиндровых и теплообменных процессах с химическими реакциями в ДВС можно использовать энтропийный подход [3; 4; 5].

**Материалы, методы и объекты исследований.** В поршневых двигателях теоретически теплота подводится извне в определенный период термодинамического цикла в соответствии с выбранным характером его протекания. В реальных циклах теплота в соответствующий период цикла выделяется в результате химической реакции топлива с кислородом воздуха. Процесс сгорания является сложным, вследствие чего не всегда в процессе химического реагирования топливо окисляется полностью до выделения конечных продуктов сгорания. Все это вызывает дополнительные потери теплоты, обусловленные процессами диссоциации и образования токсичных компонентов в продуктах сгорания [6].

В ДВС закон подвода теплоты определяет вид процесса, от которого зависит термодинамическая эффективность всего цикла двигателя. В дизелях, как известно, горение топлива осуществляется в изохорных и изобарных условиях путем введения согласно закону подачи фиксированного количества топлива, что позволяет считать систему термодинамически открытой. С переходом к исследованию открытой системы, обменивающейся с окружающей средой  $k$ -ми компонентами рабочего тела, необходимо ввести еще один вид энергообмена, не сводимый ни к теплообмену, ни к работе. В связи с этим, принимая горение как процесс с изменяющимся веществом, можно написать фундаментальное уравнение для «гомогенной массы изменяющегося состава» в виде [7]:



$$dU = TdS - pdV + \sum \mu_k dn_k, \quad (1)$$

где  $U, S, V$  – внутренняя энергия, энтропия и объем системы;  $T, p$  – абсолютные температура и давление;  $\mu_k$  – химический потенциал  $k$  – компонента рабочего тела;  $n_k$  – число молей  $k$ -го компонента рабочего тела.

В камере сгорания как в открытой термодинамической системе теплота и работа определяются количеством введенного в цилиндр цикловой подачи топлива и обусловленного этим изменением внутренней энергии рабочего тела с переменной массой. В уравнении (1) теплота, механическая работа и химическая работа (термодинамическая «полезная работа») учитываются изменениями массы и состава продуктов сгорания. Применение парциальной величины свободной энергии  $\mu_k$  для описания экстенсивных свойств многокомпонентного продуктов сгорания переменного состава позволяет лучше осознать общий смысл используемых в ней величин.

В этом уравнении сохраняется связь «энтропийного» и «объемного» членов уравнения с теплотой и механической работой. Изменения массы и состава рабочего тела в камере сгорания, в частности, изменяющая его теплоемкость, влияют на величину получаемой теплоты и на работу расширения, следовательно, и на приращения энтропии и объема, входящие в уравнение (1). Учитывая, что в данном случае  $S = S(n_1, n_2, \dots, n_k)$  и  $V = V(n_1, n_2, \dots, n_k)$ , уравнение (1) можно записать так:

$$dU_{\text{откр}} = \delta Q_{\text{откр}} - \delta L_{\text{мех}} + \delta A_{\text{хим}}, \quad (2)$$

где  $\delta Q_{\text{откр}}$  – количество теплоты, подведенное к открытой системе;  $\delta L_{\text{мех}}$  – элементарная работа расширения системы;  $A_{\text{хим}}$  – химическая работа, обусловленная изменением количества моли вещества.

Известно, что энтропия вводится через теплоту. Однако в открытых системах энтропию можно рассматривать как некую самостоятельную сущность, не связывая ее с теплотой. Поэтому условие постоянства энтропии системы  $S$  в процессе ввода в нее -го компонента вещества (изменяющего массу системы), заложенное Гиббсом в понятие химического потенциала  $\mu_k$ , не может быть выполнено. Это обусловлено неизбежным возрастанием энтропии системы как экстенсивной величины при вводе в систему дополнительных количеств какого-либо вещества. Так, в надпоршневом пространстве как в открытой системе наряду с массообменом протекают процессы тепломассообмена и диффузии -компонентов рабочего тела через границы системы, и элементарное приращение энтропии для рассматриваемой открытой системы можно описывать выражением

$$dS_{\text{откр}} = dS_{\text{закр}} + \sum_i \bar{S}_k dn_k. \quad (3)$$

В поршневых двигателях закон подвода теплоты от горячего источника организуется с учетом особенности сгорания топлива в цилиндре. Так, в дизелях подвод теплоты к рабочему телу производится смешанным путём, т. е. часть теплоты подводится в изохорном, а часть – в изобарном процессах. Приращение внутренней энергии рабочего тела при подводе теплоты в изохорном процессе будет иметь вид:

$$dU = \delta Q_v - \delta Q_{v_{\text{фп}}} - \delta Q_{v_w} + \sum_k \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial n_k} \right)_{n_i, V} \right] dn_k, \quad (4)$$

где  $\delta Q_v$  – теплота, подводимая рабочему телу в изохорном процессе;  $\delta Q_{v_{\text{фп}}}$  – элементарная теплота, затраченная на подогрев и фазовый переход впрыснутого топлива в камеру сгорания в изохорном процессе;  $\delta Q_{v_w}$  – теплота, отводимая через стенки цилиндров в изохорном процессе.

Уравнение (4) можно записать в виде:

$$\delta Q_{v_{\text{откр}}} = \delta Q_{v_{\text{закр}}} + \sum_i \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial n_m} \right)_{n_k, V} \right] dn_m =$$

$$= \delta Q_{v_{\text{закр}}} + \sum_m T \left( \frac{\partial S}{\partial n_m} \right)_{v, n_k} dn_m = \delta Q_{v_{\text{закр}}} + \delta Q_{v_{\text{ис}}}, \quad (5)$$

где  $\delta Q_{v_{\text{ис}}}$  – элементарная теплота, обусловленная изменением состава продуктов сгорания при изохорном подводе теплоты.

При описании изохорного подвода теплоты в камере сгорания появляются парциальные молярные энтропии:

$$dS_{v_{\text{откр}}} = \frac{\mu c_v dT}{T} - \frac{\delta Q_{\text{фп}}}{T} - \frac{\delta Q_{v_w}}{T} + \frac{\delta Q_{v_{\text{ис}}}}{T} = dS_{v_{\text{закр}}} + dS_{v_{\text{ис}}}, \quad (6)$$

где  $dS_{v_{\text{ис}}}$  – приращение энтропии, обусловленное изменением состава продуктов сгорания.

Выражение (6) можно записать в виде:

$$dS_{v_{\text{откр}}} = dS_{v_{\text{закр}}} + \sum_i \left( \frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{v, n_j} dn_i = dS_{v_{\text{закр}}} + \sum_i \bar{S}_{i_v} dn_i. \quad (7)$$

В дизелях, как известно, часть теплоты подводится при постоянном давлении, и данное количество может быть описано следующим уравнением:

$$\delta Q_{p_{\text{откр}}} = \delta Q_p - \delta Q_{p_{\text{фп}}} - \delta Q_{p_w} + \delta Q_{p_{\text{ис}}} = \delta Q_{p_{\text{закр}}} + T \sum_i \left[ \left( \frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{n_j, p} \right] dn_i, \quad (8)$$

где  $\delta Q_p$  – элементарное количество теплоты, подводимое при постоянном давлении;  $Q_{p_{\text{фп}}}$  – элементарная теплота, затраченная на подогрев и фазовый переход впрыснутого топлива в камеру сгорания в изобарном процессе;  $\delta Q_{p_w}$  – элементарная теплота, отводимая через стенки цилиндров в изобарном процессе;  $\delta L_{\text{мех}}$  – элементарная работа расширения системы;  $\delta Q_{v_{\text{ис}}}$  – элементарная теплота, обусловленная изменением состава продуктов сгорания при изобарном подводе теплоты.

Уравнение (8) можно записать в виде:

$$Q_{p_{\text{откр}}} = \delta Q_{p_{\text{закр}}} + T \sum_i \bar{S}_i \cdot dn_i. \quad (9)$$

Парциальные молярные энтропии при изобарном подводе теплоты будут иметь вид:

$$\begin{aligned} dS_{p_{\text{откр}}} &= dS_{p_{\text{закр}}} - dS_{p_{\text{фп}}} - dS_{p_w} + \sum_i \left( \frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{p, n_j} dn_i = \\ &= \sum dS_{p_i} + \sum_i \left( \frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{p, n_j} dn_i = dS_{p_{\text{закр}}} + \sum_i \bar{S}_{i_p} dn_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Общее количество теплоты, выделенное при горении топлива в камере сгорания в изохорно-изобарных условиях, можно определить путем суммирования данных теплот, т. е.:

$$\begin{aligned} \delta Q_{\text{откр}} &= \delta Q_{v_{\text{откр}}} + \delta Q_{p_{\text{откр}}} = \\ &= dQ_{v_{\text{закр}}} + dQ_{p_{\text{закр}}} + \sum_i \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{n_k, v} \right] dn_i + T \sum_i \left[ \left( \frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{n_j, p} \right] dn_i = \\ &= \delta Q_{\text{закр}} + T \sum_m \bar{S}_i dn_i, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\bar{S}_i$  – текущее значение парциальной молярной энтропии  $k$ -го компонента рабочего тела.

Если учесть, что внутрицилиндровые процессы являются необратимыми, то необходимо различать количество теплоты, участвующее в рассматриваемом внутрицилиндровом процессе, и количество теплоты, фактически подведенное к системе от внешнего источника в рассматриваемом термодинамическом процессе [8]. Тогда уравнение (11) можно записать в виде:

$$\delta Q_{\text{откр}} = \delta_e Q_{\text{закр}} + \delta_i Q_{\text{закр}} + T \sum_m \bar{s}_i dn_i, \quad (12)$$

где  $\delta_e Q_{\text{закр}}$  – количество теплоты, фактически подведенное от внешних источников;  $\delta_i Q_{\text{закр}}$  – некомпенсированная часть количества теплоты, участвующей в термодинамическом внутрицилиндровом процессе.

Тогда суммарное приращение энтропии в камере сгорания при изохорно-изобарном подводе теплоты можно привести к виду:

$$dS_{\text{откр}} = dS_{\text{закр}} + \sum_m \bar{s}_i dn_i = d_e S_{\text{закр}} + d_i S_{\text{закр}} + \sum_m \bar{s}_i dn_i, \quad (13)$$

где  $d_e S_{\text{закр}}$  – приращение энтропии, обусловленное влиянием внешней среды (теплового потока);  $d_i S_{\text{закр}}$  – изменение энтропии вследствие необратимых внутрицилиндровых процессов.

В общем случае  $d_e S_{\text{закр}}$  и  $d_i S_{\text{закр}}$  зависят от характера термодинамического процесса, в то время как  $dS_{\text{закр}}$  не зависит от характера термодинамического процесса и является полным дифференциалом.

С другой стороны, количество теплоты, введенное на один рабочий цикл, равно

$$\delta Q_{\text{откр}} = \delta Q_{\text{под}} = H_u dg_{\text{ц}}, \quad (14)$$

где  $\delta Q_{\text{под}}$  – элементарная теплота, подведенная к рабочему телу;  $H_u$  – низшая теплотворная способность топлива;  $g_{\text{ц}}$  – цикловая подача топлива.

Все термодинамические процессы действительного цикла, осуществляемого в реальном двигателе, в той или иной степени необратимы [2; 9]. Необратимость приводит к уменьшению работы процесса, обусловленному частичной диссипацией работы в теплоту. Теплота диссипации, возникающая вследствие трения и неравновесности тепломассообменных процессов в камере сгорания, согласно второму началу термодинамики не в состоянии превратиться в работу, а передается окружающей среде, составляя окончательную и безвозвратную потерю [8].

Выделившуюся за цикл теплоту в связи с неравновесностью процессов смесеобразования, неполным сгоранием топлива и потерями части теплоты при диссоциации молекул, протекающей с поглощением теплоты, можно выразить в долях низшей теплоты сгорания  $H_u$  цикловой дозы топлива [9]:

$$d_e Q_{\text{выд}} = dQ_{\text{под}} - \sum d_i Q_{\text{выд}} = \chi H_u dg_{\text{ц}}, \quad (16)$$

где  $\sum d_i Q_{\text{выд}}$  – суммарное количество теплоты, теряемое из-за необратимости и несовершенства процессов смесеобразования и сгорания;  $\chi$  – коэффициент выделения теплоты, учитывающий потерю части теплотворности топлива вследствие неполноты сгорания из-за его несовершенства.

Если учесть, что процессы преобразования теплоты в работу при смесеобразовании и сгорании топлива являются необратимыми термодинамическими процессами, то критерием необратимости их является изменение энтропий. Основными надпоршневыми процессами, продуцирующими энтропию в термодинамических системах поршневых двигателей, являются неравновесные процессы топливоподачи и тепловыделения, теплопроводность, диффузия, диссипативные явления в пограничном слое камеры сгорания [9].

**Результаты исследований.** В процессе тепловыделения из-за наличия температурно-концентрационной неоднородности рабочего тела происходят неравновесные процессы переноса теплоты и массы диффузионными потоками продуктов сгорания. Это обусловлено тем, что температуры продуктов сгорания в зоне горения существенно выше температуры воздуха вне зоны горения в дизелях и температуры несгоревшей смеси в двигателях с принудительным воспламенением. Температурная неоднородность заряда при сгорании проявляется двояко: во-первых, в различии температур сгоревшей и несгоревшей частей заряда вследствие относительно малой скорости выравнивания температур и, во-вторых, в

наличии градиента температур в сгоревшей части заряда вследствие так называемого Маха-эффекта [10].

С учетом неравновесности внутрицилиндровых процессов смесеобразования и сгорания элементарную удельную выделившуюся теплоту можно записать в виде:

$$d_e q_{\text{выд}} = \frac{1}{(1 + \gamma)\alpha l_0} \left[ dq_{\text{под}} - \sum_j T (d_i s_{\text{выд}})_j \right] = \frac{\chi H_u \cdot v}{(1 + \gamma)\alpha l_0} dt, \quad (17)$$

где  $T$  – текущая температура рабочего тела;  $l_0$  – стехиометрический коэффициент;  $v$  – скорость реакции;  $(d_i s_{\text{выд}})_j$  – производство энтропии в  $j$  – неравновесном процессе смесеобразования и сгорания;  $\gamma$  – коэффициент остаточных газов;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

Из выражения (17) следует, что коэффициент  $\chi$  имеет вид:

$$\chi = 1 - \frac{(1 + \gamma)\alpha l_0}{H_u \cdot v} \left( T \sum_j \sigma_{s_j} + \sum_m \bar{s}_i \frac{dn}{dt_i} \right) \Rightarrow \max,$$

где  $\sigma_{s_j}$  – скорость производства энтропии вследствие необратимости и несовершенства процессов смесеобразования и сгорания топлива.

Выражение локального суммарного производства энтропии, вызванного неравновесностью процессов смесеобразования и сгорания топлива в надпоршневом пространстве, можно рассмотреть в виде нескольких независимых слагаемых:

$$\sigma_{s_j} = \sigma_s^{mc} + \sigma_s^q + \sigma_s^\lambda + \sigma_s^d + \sigma_s^v + \sigma_s^r \geq 0, \quad (18)$$

где  $\sigma_s^{mc}$ ,  $\sigma_s^q$ ,  $\sigma_s^\lambda$ ,  $\sigma_s^d$ ,  $\sigma_s^v$ ,  $\sigma_s^r$  – соответственно скорости производства энтропии в процессах топливоподачи, тепловыделения, теплопроводности, диффузии, вязкого трения в пограничном слое на поверхности камеры сгорания и протекания неравновесных химических реакций сгорания топлива.

Кроме потери теплоты в вышеназванных диссипативных процессах, обусловленных необратимостью и несовершенством процессов смесеобразования и сгорания топлива, имеются также потери теплоты, связанные с теплопередачей через стенки цилиндров, утечкой рабочего тела через кольцевые уплотнения. В течение всего процесса сгорания сумма этих потерь обычно составляет  $Q_{\text{пот}} = (0,008 \dots 0,15)Q_{\text{выд}}$  [1]. Следовательно, теплота, подведенная к рабочему телу, называемая использованной теплотой, будет равна:

$$Q_{\text{исп}} = Q_{\text{выд}} - Q_{\text{пот}}, \quad (19)$$

где  $Q_{\text{исп}}$  – использованная теплота.

С учетом неравновесности вышесказанных термодинамических процессов, количество теплоты, подведённое к рабочему телу на участке видимого сгорания на линии расширения – использованную теплоту сгорания можно оценить по формуле

$$d_e Q_{\text{исп}} = d_e Q_{\text{выд}} - \sum d_i Q_{\text{исп},k} = \xi \chi H_u d g_{\text{ц}}, \quad (20)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования теплоты на участке видимого сгорания;  $d_i Q_{\text{исп},k}$  – элементарная теплота диссипации в  $k$ -м неравновесном термодинамическом процессе.

Из выражения (20), что элементарная удельная использованная теплота

$$d_e q_{\text{исп}} = \frac{\xi \chi H_u \cdot v}{(1 + \gamma)\alpha l_0} dt. \quad (21)$$

Из уравнения (20) с учетом выражения (21) следует, что коэффициент использования теплоты  $\xi$  имеет вид:

$$\xi = 1 - \frac{(1 + \gamma)\alpha l_0}{\chi \cdot H_u \cdot v} \left( T \sum_j \sigma_{s_k} + \sum_m \bar{s}_i \frac{dn}{dt_i} \right) \Rightarrow \max, \quad (22)$$

где  $\sigma_{s_j}$  – скорость производства энтропии вследствие необратимости  $k$  – х термодинамических процессов на линии расширения.

Алгебраическая сумма скоростей производств энтропий, возникающих на участке расширения в надпоршневом пространстве, равна

$$\sum \sigma_{s_k} = \sum_j \Delta_i S_{\text{исп.}k} / \tau = \sigma_s^w + \sigma_s^f + \sigma_s^{\text{ДР}} + \sigma_s^{\text{СМ}} \geq 0, \quad (23)$$

где  $\sigma_s^w$ ,  $\sigma_s^f$ ,  $\sigma_s^{\text{ДР}}$ ,  $\sigma_s^{\text{СМ}}$ , соответственно, скорости производства энтропии, возникающие в процессах теплообмена и теплопроводности стенки цилиндров, диссипации механической энергии за счет трения, дросселирования газов из надпоршневого пространства через кольцевое уплотнение, тепломассообмена в масляной пленке на стенке цилиндра;  $\tau$  – продолжительность  $k$ -го термодинамического процесса.

Анализ термодинамической эффективности действительных циклов поршневых двигателей заключается в определении процессов, которые необходимо совершенствовать с целью уменьшения необратимых потерь и повышения КПД цикла. Основным показателем, достаточным для суждения об эффективности термодинамических циклов поршневых двигателей, служит термический КПД цикла  $\eta_t$ .

Тепловые потери в надпоршневом пространстве, обусловленные внутренней необратимостью внутрицилиндровых термодинамических процессов, определяются индикаторным КПД  $\eta_i$ , их анализ с целью минимизации диссипативных потерь обеспечивает получение максимального индикаторного КПД  $\eta_i$ . Связь коэффициента  $\eta_i$  с оптимизированными законами тепловыделения и теплопереноса может быть выражена уравнением [9]:

$$\eta_i = 1 - \delta_{\text{нп}} - \delta_w - \delta_{\text{ог}} - \frac{\sum D_i}{Q_{\text{под}}} = \eta_t - \frac{\sum T_i \sigma_i dt}{Q_{\text{под}}}, \quad (24)$$

где  $\delta_{\text{нп}}$  – коэффициент неполноты сгорания топлива;  $\delta_w$  – коэффициент, характеризующий потери теплоты в связи с наличием поверхностей теплообмена;  $\delta_{\text{ог}}$  – коэффициент, характеризующий потери теплоты в связи с наличием процесса газообмена;  $D_i$  – диссипативные потери в связи необратимостью внутрицилиндровых процессов.

Тогда удельный индикаторный расход топлива [11]

$$g_i = \frac{1}{H_u \eta_i}. \quad (25)$$

Из выражений (24) и (25) следует, что чем меньше диссипативные потери в процессах тепломассопереноса в надпоршневом пространстве, тем больше индикаторный КПД, повышение которого обеспечивает снижение удельного расхода топлива.

Таким образом, использование для анализа внутрицилиндровых процессов энтропийного метода, основанного на принципах термодинамики неравновесных процессов, позволяет исследовать тепловые потери в надпоршневом пространстве из условия минимизации суммарного производства энтропии. При этом минимизация диссипативных потерь теплоты в процессах смесеобразования и сгорания топлива в камере сгорания обеспечивает повышение индикаторной работы и получение максимального индикаторного КПД, а использование принципов неравновесной термодинамики позволяет учитывать не только количественную сторону тепловых потерь, но и их качественную сторону.

#### Список источников литературы

1. Шароглазов Б.А. Поршневые двигатели: теория, моделирование и расчет процессов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 525 с.
2. Стечкин Б.С. Избранные труды: Теория тепловых двигателей. – М.: Физматлит, 2001. – 432 с.
3. Зейнетдинов Р.А. Влияние неравновесных внутрицилиндровых процессов на индикаторный КПД поршневого двигателя // Известия Международной академии аграрного образования. – СПб., 2020. – № 60. – С. 111–118.

4. Reddy A., Critical A Review of Entropy Generation in Internal Combustion Engine // Dept of Mechanical Engineering, MLR Institute of Technology, Dundegal (V), Hyderabad-43. – 2016. – vol. 4. – № 3. – P. 1–4.
5. Jorge J., G. Martins, Bernardo S., Ribeiro, Ion V. Ion. Thermodynamic analysis of Spark Ignition engines using the Entropy Generation Minimisation method // International Journal of Exergy. – 2009. – Vol. 6, № 1. – P. 93–110.
6. Ерохов В.И. Токсичность современных автомобилей. – М.: Форум: ИНФРА – М., 2013. – 448 с.
7. Борщевский А.Я. Физическая химия. Т.1. Общая и химическая термодинамика. – М.: ИНФА-М, 2017. – 606 с.
8. Зейнетдинов Р.А. Особенности процессов переноса и преобразования тепловой энергии в камере сгорания поршневого двигателя // Известия Международной академии аграрного образования. – СПб., 2018. – № 52. – С. 214–220.
9. Зейнетдинов Р.А. Энергодинамика поршневых двигателей: монография. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 272 с.
10. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. – М.: Из-во МГТУ им. Баумана, 2016. – 589 с.
11. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; под. ред. А.С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

#### References

1. Sharoglazov, V.A. (2011), *Porshnevyye dvigateli: teoriya, modelirovanie i raschet processov* [Piston engines: theory, modeling and calculation of processes], Chelyabinsk, Izdatel'skiy centr YuUrGU, 525 p. (in Russian)
2. Stechkin B.S. (2001), *Izbrannyye trudy: Teoriya teplovykh dvigatelej* [Selected works: Theory of heat engines], M., Fizmat-lit, 432 p. (in Russian)
3. Zejnetdinov R.A., Vliyaniye neravnovesnykh vnutricilindrovyykh processov na indikatornyy KPD porshnevoogo dvigatelya [Influence of nonequilibrium in-cylinder processes on the indicator efficiency of a piston engine], *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*, SPb., 2020, no 60, pp. 111–118. (in Russian)
4. K. Ashok Reddy (2016), A Critical Review of Entropy Generation in Internal Combustion Engine, Dept of Mechanical Engineering, MLR Institute of Technology, Dundegal (V), Hyderabad-43, *Izdatel' dlya motivacii issledovaniy*, vol. 4, iss. 3, pp. 1–4.
5. Jorge J., G. Martins, Bernardo S., Ribeiro, Ion V. Ion (2009), Thermodynamic analysis of Spark Ignition engines using the Entropy Generation Minimisation method, *International Journal of Exergy*, vol. 6, no. 1, pp. 93–110.
6. Erohov V.I. (2013), *Toksichnost' sovremennykh avtomobilej* [Toxicity of modern cars ], M., Forum, INFRA-M., 448 p. (in Russian)
7. Borshchevskiy A.Ya. (2017), *Fizicheskaya himiya, vol.1, Obshchaya i himicheskaya termodinamika* [Physical chemistry, vol. 1, General and chemical thermodynamics], M., INFRA-M, 606 p. (in Russian).
8. Zejnetdinov R.A. (2018), Osobennosti processov perenosa i preobrazovaniya teplovoj energii v kamere sgoraniya porshnevoogo dvigatelya [Features of the processes of transfer and conversion of thermal energy in the combustion chamber of a piston engine], *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*, SPb., no. 52, pp. 214–220. (in Russian).
9. Zejnetdinov, R.A. (2018), *Energodinamika porshnevyykh dvigatelej* [Energy dynamics of piston engines], SPb., SPbGAU, 272 p. (in Russian).
10. Kavtaradze R.Z. (2016), *Teoriya porshnevyykh dvigatelej. Special'nye glavy* [Theory of piston engines. Special chapters], M., From the Bauman Moscow State Technical University, 589 p. (in Russian).
11. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya porshnevyykh i kombinirovannykh dvigatelej: uchebnyk dlya vtuzov po special'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoraniya»* [Internal combustion engines. Theory of piston and combined engines: textbook for higher education institutions in the specialty "Internal combustion engines"], D.N. Vyubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivin i dr.; pod. red. A.S. Or-lina, M. G. Kruglova, 4-e izd., pere-rab. i dop. ,M., Mashinostroenie, 1983, 372 p. (in Russian).

### Сведения об авторе

**Зейнетдинов Рахимулла Ариффуллович** – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; spin – код: 3282-7424, Scopus author ID: 57221199057.

### Information about the authors

**Rahimulla A. Zejnetdinov** – Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin – код: 3282-7424, Scopus author ID: 57221199057.

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

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

*Статья поступила в редакцию 03.07.2022 г.; одобрена после рецензирования 12.09.2022 г.; принята к публикации 23.09.2022 г.*

*The article was submitted 03.07.2022; approved after reviewing 12.09.2022; accepted after publication 23.09.2022.*

## 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 «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» публикуются статьи по следующим группам специальностей:

- 06.01.00 Агронимия (сельскохозяйственные науки; биологические науки);
- 06.02.00 Ветеринария и Зоотехния (сельскохозяйственные науки; биологические науки);
- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем (технические науки; сельскохозяйственные науки).

**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 редакционно-издательский отдел необходимо предоставить следующие материалы:

- **текст статьи** на русском языке в бумажной версии (для сторонних авторов – 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; **допускается не более 3-х 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 прописной);
- место работы (шрифт 12 строчный), e-mail (шрифт 12 строчный) в скобках;
- **название статьи** (шрифт 14 жирный прописной);
- основной текст (шрифт 14 строчный);
- список источников литературы, **References** (шрифт 12 строчный жирный, разреженный);

Текст статьи необходимо структурировать, используя подзаголовки соответствующих разделов: **введение; цель исследования; материалы, методы и объекты исследования; результаты исследования; выводы** (отмечать подзаголовки жирным шрифтом), библиографический список. **Библиографический список: не менее 10 источников**, включая иностранные, оформляется общим списком в конце статьи и представляется на русском языке и **в латинице – References, стандарт «Harvard»**. Литература должна быть оформлена в соответствии с ГОСТом Р 7.0.5-2008. 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 по программе «Антиплагиат».

5. Редакционно-издательские услуги для сторонних авторов – 550 руб. (1 стр.), стоимость журнала – 900 руб.

6. **В каждом журнале допускается публикация только одной статьи одного и того же автора.**

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

Ежеквартальный научный  
журнал № 3 (68)

Подписано к печати 27.09.2022  
Формат 60×84 1/8. П.л. 20 Тираж 1000. Заказ 406.  
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов  
в Издательско-полиграфическом комплексе  
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета  
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2