

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 1 (70)**



**IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY**

**2023**

# ИЗВЕСТИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 (70)



# IZVESTIYA

SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY

2023

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 1 (70)

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

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

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

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

**IZVESTIYA SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY**

Peer-reviewed scientific journal  
4 issues per year  
№ 1 (70)

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**

Рецензируемый научный журнал

4 номера в год

№ 1 (70)

Главный редактор

**Морозов Виталий Юрьевич**

Доктор ветеринарных наук, ректор

Заместитель главного редактора

**Колесников Роман Олегович**

Кандидат ветеринарных наук, проректор  
по научной, инновационной и международной работе

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 плодовоощеводства и декоративного садоводства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

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

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

**Болгов Анатолий Ефремович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры 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;

**Дидманидзе 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;

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

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

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

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

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

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

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

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

**Юдаев Игорь Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры 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**

Peer-reviewed scientific journal  
4 issues per year  
№ 1 (70)

Editor-in-Chief  
**Morozov Vitaliy Yurievich**  
Doctor of Veterinary Sciences, Rector

Deputy Editor-in-Chief  
**Kolesnikov Roman Olegovich**  
Candidate of Veterinary Sciences, Vice-Rector for Scientific,  
Innovative and International Work

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, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<b>Донских Н.А., Веселков В.А.</b> Формирование травостоев с козлятником восточным отечественных сортов в первый год жизни в условиях Ленинградской области.....	9
<b>Опалихина В.А.</b> Особенности плодоношения и химический состав семян воробейника краснокорневого ( <i>Lithospermum erythrorhizon</i> ).....	19
<b>Тишин В.Б., Фёдорова Р.А.</b> Кинетика развития грибов-зооглеев <i>Medusomyces gisevi</i> и <i>Oryzomyces indicia</i> РГЦ: закономерности и проблемы математического описания.....	30
<b>Атрощенко Г.П., Горбачева Н.Н., Асир Н.</b> Оценка интродуцированных форм клоновых подвоев яблони по основным хозяйственно-биологическим признакам.....	41
<b>Кривченко О.А., Шорохов М.Н., Долженко О.В.</b> Биологическая защита рапса ярового от капустной моли.....	51
<b>Ельшаева И.В., Воропаева Е.В., Пинаева А.С.</b> Использование грунта, обогащенного осадками сточных вод, при выращивании декоративных растений.....	59

### ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

<b>Шараськина О.Г., Головина Т.Н.</b> Факторы, влияющие на скорость поедания лошадьми концентрированных кормов.....	69
<b>Васильева Л.Т., Бычаев А.Г.</b> Влияние возраста кур-несушек кросса Ну-Line Brown на качество яиц.....	79

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Картошкин А.П., Сухопаров А.И., Соловьев Я.С.</b> Результаты экспериментальных исследований процесса уплотнения растительной массы в зависимости от технологических характеристик травы.....	89
<b>Волков В.С., Беззубцева М.М.</b> Научное обоснование интенсификации процесса механоактивации материалов в магнитоожигенном слое ферротел.....	99
<b>Ракутько С.А., Ракутько Е.Н.</b> Способ биоиндикации агроэкосистем с применением метода компьютерной морфоцветометрии.....	111



## CONTENTS

### AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

<b>Donskikh, N.A., Veselkov, V.A.</b> Formation of grass stands with eastern goat of domestic varieties in the first year of life in the conditions of the Leningrad region.....	9
<b>Opalikhina, V.A.</b> Fruiting features and chemical composition of red-rooted gromwell seeds ( <i>Lithospermum erythrorhizon</i> ).....	19
<b>Tishin, V.B., Fedorova, R.A.</b> Development kinetics of zoogloea fungi <i>Medusomyces Gisevi</i> and <i>Oryzomyces Indicia</i> RGC: regularities and problems of mathematical description.....	30
<b>Atroshchenko, G.P., Gorbacheva, N.N., Asir, N.</b> Evaluation of introduced forms of apple clone rootstocks according to the main economic and biological characteristics.....	41
<b>Krivchenko, O.A., Shorokhov, M.N., Dolzhenko, O.V.</b> Biological protection of spring rapeseed from cabbage moth.....	51
<b>Elshaeva, I.V., Voropaeva, E.V., Pinaeva, A.S.</b> Use of soil enriched with wastewater drainage in growing ornamental plants.....	59

### ANIMAL AND VETERINARY SCIENCE

<b>Sharaskina, O.G., Golovina, T.N.</b> Factors affecting the rate of concentrated feed eating by horses.....	69
<b>Vasilyeva, L.T., Bychaev, A.G.</b> Influence of age of Hy-Line Brown layer hens on egg quality .....	79

### AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY

<b>Kartoshkin, A.P., Sukhoparov, A.I., Solovyov, Ya. S.</b> Results of experimental studies of the process of compaction of plant mass depending on the technological characteristics of the grass.....	89
<b>Volkov, V.S., Bezzubtseva, M.M.</b> Scientific substantiation of the intensification of the process of mechanical activation of materials in the magnetically fluidized ferrotel layer.....	99
<b>Rakutko, S.A., Rakutko, E.N.</b> Method for bioindication of agroecosystems based on computer morpho-colorimetry.....	111

Научная статья

УДК 633

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-9-18

**ФОРМИРОВАНИЕ ТРАВСТОЕВ С КОЗЛЯТНИКОМ ВОСТОЧНЫМ  
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ В ПЕРВЫЙ ГОД ЖИЗНИ  
В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Нина Александровна Донских<sup>1</sup>, Вячеслав Андреевич Веселков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601; nina-donskikh@mail.ru;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 1966091; veselckov.slava@gmail.com

**Реферат.** В данной статье рассматриваются вопросы создания фуражных травостоев с участием перспективного бобового вида козлятника восточного на дерново-карбонатной почве в условиях Ленинградской области. Козлятник восточный, в отличие от клевера лугового, характеризуется высоким долголетием (до 15 лет и выше), но в первые годы жизни отличается крайне замедленным развитием. Это обстоятельство и сдерживает его широкое распространение в производстве. Поэтому целью исследований являлось изучение особенности формирования кормовых травостоев с участием этого бобового вида в первые два года жизни растений. В опытах, которые закладывались в 2021 и 2022 гг., сравнивали два отечественных сорта – Кривич и Ялгинский и разные нормы высева: 5, 3,75 и 2,5 млн шт. га. Посев осуществляли и в чистом виде, и в смеси с тимофеевкой луговой. На полевую всхожесть семян существенное значение оказывают погодные условия: так, в аномально жаркое лето 2021 г. всходы из-за крайне низкой влагообеспеченности почвы появились только на 36-й день, в то время как в 2022 г. при оптимальном влагообеспечении – на 10-й день. При неблагоприятных условиях, сложившихся после посева в 2021 г., явное преимущество по полевой всхожести показал сорт Ялгинский. Являясь озимым видом по типу развития, козлятник восточный в первый год после посева буквально «сидит», не наращивая длину побегов: высота травостоя через 90–100 дней составляла всего 18–26 см. Экспериментальные травостои с таким замедленным развитием, особенно одновидовые, отличались высокой засоренностью (до 76–97%). Совместный посев козлятника обоих сортов способствовал меньшему засорению создаваемых травостоев.

**Ключевые слова:** козлятник восточный, отечественные сорта, полевая всхожесть, способ посева

**Цитирование.** Донских Н. А., Веселков В. А. Формирование травостоев с козлятником восточным отечественных сортов в первый год жизни в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С. 9–18. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-9-18

**FORMATION OF GRASS STANDS WITH EASTERN GOAT OF DOMESTIC VARIETIES  
IN THE FIRST YEAR OF LIFE IN THE CONDITIONS OF THE LENINGRAD REGION****Nina A. Donskikh<sup>1</sup>, Vyacheslav A. Veselkov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601; nina-donskikh@mail.ru;<sup>2</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601; veselckov.slava@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the issues of creating forage herbage with the participation of a promising legume species of Eastern goat, on sod-carbonate soil in the conditions of the Leningrad region. The eastern goat, unlike the meadow clover, is characterized by high longevity (up to 15 years and above), but at the same time in the first years of life it is characterized by extremely slow development. This circumstance also restrains its wide distribution in production. Therefore, the purpose of the research was to study the peculiarities of the formation of forage herbage with the participation of this legume species in the first two years of plant life. In the experiments that were laid in 2021 and 2022, two domestic varieties Krivich and Yalginsky and different seeding rates were compared: 5, 3.75 and 2.5 million hectares. Sowing was carried out both in pure form and in a mixture with Timofeevka meadow. Weather conditions have a significant impact on the field germination of seeds: so in the abnormally hot summer of 2021. due to the extremely low moisture content of the soil, seedlings appeared only on day 36, while in 2022, with optimal moisture supply, they appeared on day 10. Under unfavorable conditions that developed after sowing in 2021, the Yalginsky variety showed a clear advantage in field germination. Being a winter species by type of development, the eastern goat in the first year after sowing, literally "sits" without increasing the length of shoots: the height of the herbage after 90-100 days was only 18-26 cm.. Characterized by such a slow development, experimental herbages were characterized by high clogging, especially single-species (up to 76-97%). The joint sowing of goat husk of both varieties contributed to less clogging of the created herbage.

**Keywords:** eastern goat, domestic varieties, field germination, sowing method

**Citation.** Donskikh, N. A., Veselkov, V. A. (2023), Formation of grass stands with eastern goat of domestic varieties in the first year of life in the conditions of the Leningrad region, *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 9–18. (in Russ.)  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-9-18

**Введение.** Недостаток белка, одного из главных показателей в рационе животных, требует постоянного поиска возможности увеличения его производства за счет растительных источников. Современные направления в луговом кормопроизводстве ориентированы на более широкое использование бобово-злаковых травостоев, которые обеспечивают получение дешевых и питательных кормов [1]. Внедрение многолетних высокопродуктивных, богатых растительным белком культур позволяет решить эту проблему. Для получения высокобелковых кормов и повышения почвозащитных функций долю многолетних бобовых трав и их смесей в структуре укосных площадей целесообразно довести до 75–85% и до 65% – в общей структуре полевого клина [2–4]. На Северо-Западе России основным бобовым видом

при создании таких травостоев и на сегодня является клевер луговой, но у этого вида есть существенный недостаток — его малое долголетие. Поэтому решение проблемы кормовой базы на современном этапе должно сводиться не только к обеспечению потребности животноводства в высококачественных кормах, но и к более широкому использованию долголетних бобовых видов, обеспечивающих повышение доходности отрасли, сохранение плодородия почвы и охрану окружающей среды. Одним из таких видов семейства бобовых является козлятник восточный, обладающий длительным продуктивным долголетием и комплексом ценных хозяйственных и эколого-биологических особенностей [5; 6]. Однако широкое распространение этого ценного вида в производстве сдерживается его крайне замедленным развитием в первые годы жизни. Поэтому проблема создания травостоев с участием козлятника восточного является актуальным вопросом и имеет практическое значение [7–9].

**Цель исследований** – изучение особенности формирования травостоев с козлятником восточным разных сортов в первые годы жизни в условиях Ленинградской области. В исследования входило определение полевой всхожести разных сортов козлятника восточного при разных нормах высева по годам, изучение динамики побегообразования и урожайности фитомассы в первый год использования.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Посев семян козлятника восточного проводился разными нормами как в чистом виде, так и в смеси с тимофеевкой луговой на опытном поле СПбГАУ. Для проведения исследований были использованы следующие сорта, районированные в Ленинградской области: козлятник восточный (*Galega orientalis*) – Кривич и Ялгинский, тимофеевка луговая (*Phleum pratense*) – Ленинградская 204.

Схема опыта включала 12 вариантов, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта № 1 (2021 г.)  
Table 1. Scheme of experience № 1 (2021)

№ п/п	Варианты	Норма высева, кг/га	Соотношение видов в посевах, %
1	Козлятник восточный (сорт Кривич)	13	100
2	Козлятник восточный (сорт Кривич)	19,5	100
3	Козлятник восточный (сорт Кривич)	26	100
4	Козлятник восточный (сорт Кривич) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	13+7	50+50
5	Козлятник восточный (сорт Кривич) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	19,5+7	75+50
6	Козлятник восточный (сорт Кривич) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	26+7	100+50
7	Козлятник восточный (сорт Ялгинский)	13	100
8	Козлятник восточный (сорт Ялгинский)	19,5	100
9	Козлятник восточный (сорт Ялгинский)	26	100
10	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	13+7	50+50
11	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	19,5+7	75+50
12	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	26+7	100+50

Полевой опыт № 1 был заложен 18 июня 2021 г. методом систематических повторений. Повторность опыта – четырехкратная. Площадь делянки 6,8 м<sup>2</sup>. Перед закладкой опыта участок был вспахан плугом ПЛН-3-35 на глубину 18–20 см, затем было проведено дискование БДТ-3 в четыре следа на глубину 10–12 см, участок был выровнен рельсовой волокушей. Посев многолетних трав проводился вручную. Способ посева – рядовой с шириной междурядий 15 см.

Перед посевом семена козлятника восточного скарифицировали и обработали ризоторфином (штамм 912) из расчета 0,5 кг/га. После посева провели прикатывание почвы вручную.

Для установления влияния погодных условий на всхожесть и развитие козлятника восточного в Ленинградской области в первоначальный период в 2022 г. был заложен повторный опыт, схема которого представлена в табл. 2.

Таблица 2. Схема опыта № 2 (2022 г.)  
Table 2. Scheme of experience № 2 (2022)

№ п/п	Варианты	Норма высева, кг/га	Соотношение видов в травосмесях, %
1	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75%	13	75
2	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100%	26	100
3	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	19,5+7	75+50
4	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	26+7	100+50
5	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75%	19,5	75
6	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100%	26	100
7	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	19,5+7	75+50
8	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	26+7	100+50

Полевой опыт был заложен 5 июля 2022 г. методом систематических повторений. Повторность опыта – четырехкратная. Площадь делянки 10 м<sup>2</sup>.

**Результаты исследований.** Погодные условия в период проведения исследований не сильно различались по годам. Во время закладки опыта как в 2021 г., так и в 2022 г. наблюдалась довольно жаркая погода, особенно аномально высокой температурой отличался первый год исследований (температура воздуха превышала среднемноголетние показатели более чем на 15%), сумма осадков была ниже на 70%, что повлияло на недостаточную влагообеспеченность почвы и крайне неблагоприятно отразилось на сроках прорастания семян (табл. 3).

В 2022 г. посев также совпал с довольно жаркой погодой, но достаточное количество выпавших осадков обеспечило оптимальную влагообеспеченность почвы и дружное своевременное появление всходов. Вторая половина летнего периода в оба года исследований характеризовалась теплой погодой при избыточном количестве осадков, что способствовало нормальному формированию экспериментальных посевов.

Таблица 3. Метеорологические данные в годы проведения исследований  
(по данным метеостанции СПбГАУ)

Table 3. Meteorological data during the years of research (according to the SPbGAU weather station)

Показатели	Год	Месяцы					Итого
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
Среднемесячная температура воздуха, °С	2021	11,2	21,4	23,1	16,9	10,2	–
	2022	10,0	17,6	19,9	20,6	10,3	–
	Средние многолетние данные	9,2	14,1	16,8	15,0	10,5	–
Отклонение от средних многолетних данных	Отклонение 2021	–2	–7,3	–6,3	–1,9	0,3	–17,2
	Отклонение 2022	–0,8	–3,5	–3,1	–5,6	0,2	–12,8
Сумма осадков, мм	2021	131,2	22,1	50,0	135,0	43,0	
	2022	26,0	47,0	76,0	113,0	67,0	
	Средние многолетние данные	51,0	74,0	73,0	90,0	69,0	
Отклонение от средних многолетних данных	Отклонение 2021	–80,2	51,9	23	–45	26	–24,3
	Отклонение 2022	25	27	–3	–23	2	28

Всходы скарифицированного и проинкулированного посевного материала козлятника восточного появляются через 8–10 дней после посева [2]. В связи со сложившимися погодными условиями в опыте № 1 из-за июньской засухи 2021 г. всходы начали появляться лишь на 36-й день после посева. В опыте № 2 при благоприятных климатических условиях всходы появились на 10-й день после посева.

Полевая всхожесть семян в опыте № 1 (2021 г.) представлена в табл. 4.

Таблица 4. Полевая всхожесть семян, опыт № 1, %  
Table 4. Field germination of seeds, experiment № 1, %

Вариант опыта	Число взошедших семян шт./м <sup>2</sup>	Масса 1000 шт. семян, г	Количество высеянных семян млн шт./га	Число взошедших семян, шт./га	Полевая всхожесть, %
1	48	4,8	2,50	0,48	19
2	92	4,8	3,75	0,92	25
3	196	4,8	5	1,96	39
4	60	4,8	2,50	0,6	24
5	64	4,8	3,75	0,64	17
6	112	4,8	5	1,12	22
7	120	4,8	2,50	1,2	48
8	184	4,8	3,75	1,84	49
9	260	4,8	5	2,6	52
10	96	4,8	2,50	0,96	38
11	112	4,8	3,75	1,12	30
12	180	4,8	5	1,8	36

Сорт Ялгинский при сложившихся неблагоприятных условиях выделился как наиболее устойчивый и продемонстрировал как в чистом, так и в смешанном посеве заметно выше всхожесть по сравнению с другим отечественным сортом Кривич: в 1,4–2,5 раза в чистом посеве и в 1,6–1,8 раза при совместном посеве с тимофеевкой луговой. Увеличение площади питания, связанное со снижением нормы высева, не повлияло на полевую всхожесть, напротив, у сорта Кривич при норме 5 млн всхожесть в 2 раза превышала норму 2,5 млн.

Определением полевой всхожести в опыте № 2 (2022 г.) подтверждена закономерность о явном превосходстве сорта Ялгинский, у которого полевая всхожесть в одновидовом посеве в 2–2,5 раза превышает сорт Кривич, а в смешанном – даже в 3 раза. Снижение нормы высева на 25% ощутимо сказалось на всхожести смешанных посевов с тимофеевкой луговой обоих изучаемых сортов (табл. 5).

Полевая всхожесть опыта № 2 (2022 г.) представлена в табл. 5.

Таблица 5. Полевая всхожесть семян в опыте № 2 (2022 год), %  
Table 5. Field germination of seeds in experiment № 2 (2022), %

Вариант опыта	Средняя всхожесть шт./м <sup>2</sup>	Масса 1000 шт. семян, г	Количество высеянных семян млн шт./га	Число взошедших семян, шт./га	Полевая всхожесть, %
1	72	4,8	3,75	0,72	19
2	88	4,8	5	0,88	18
3	38	4,8	3,75	0,38	10
4	112	4,8	5	1,12	22
5	156	4,8	3,75	1,56	41
6	232	4,8	5	2,32	46
7	128	4,8	3,75	1,28	34
8	296	4,8	5	2,96	59

Высота растений козлятника восточного – это косвенный показатель урожайности. По данным литературных источников, козлятник восточный имеет среднюю высоту побегов 90–150 см [4]. Но в первый год жизни этот долголетний вид, являясь озимым по типу развития, очень медленно отрастает в высоту. Так, в опыте № 1 (2021 г.) перед уходом в зиму за 102 дня козлятник восточный сформировал побеги высотой 8–24 см (измерение проводилось 02.10.2021), в опыте № 2 (2022 г.), при более благоприятных условиях – 18–31 см (за 83 дня); измерение высоты растений проводилось 23.09.2022 (табл. 6).

Данные, полученные по высоте растений за два года, свидетельствуют о малом линейном росте изучаемого вида и слабой конкурентной мощности этого перспективного вида в первый год жизни. Однако обращает на себя внимание тот факт, что уменьшение нормы высева как на 25%, так и на 50% приводит к существенному снижению высоты растений козлятника восточного из-за высокой конкуренции со стороны сорной растительности. Для подавления сорняков, состав которых был представлен многими видами, проводили трижды подкашивание на высоте 12–15 см.

Приёмы создания укосных травостоев обеспечивают разные экологические условия для произрастания высеваемых лугопастбищных трав, оказывают большое влияние на их содержание в травостое [6; 7].

Таблица 6. **Высота растений козлятника восточного в первый год жизни перед уходом в зиму (см)**  
Table 6. **The height of the plants of the Eastern goat in the first year of life before leaving for winter (cm)**

№ п/п	Варианты	Высота растений козлятника (см)	
		опыт № 1	опыт № 2
1	Козлятник восточный (сорт Кривич) 50%	8	–
2	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75%	12	18
3	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100%	19	24
4	Козлятник восточный (сорт Кривич) 50% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	10	–
5	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	15	17
6	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	20	26
7	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 50%	12	–
8	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75%	13	26
9	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100%	22	28
10	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 50% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	13	–
11	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	19	26
12	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100% + Тимофеевка луговая (Ленинградская 204) 50%	24	31

Одним из основных показателей кормового достоинства травостоя является ботанический состав. Он определяет биологическую полноценность корма, устойчивость урожаев трав и продуктивное долголетие луга [3]. Ботанический состав изучаемых травостоев в первый год жизни представлен в табл. 7.

Результаты исследований по определению ботанического состава подтверждают данные других исследователей по крайне медленному развитию этого ценного бобового вида, что и тормозит широкое внедрение его в производство. Являясь озимым видом, козлятник восточный слабо и медленно разворачивает потенциал развития не только в первый год жизни, но и в первый год пользования, что ставит его в разряд слабоконкурентных видов по отношению к сорной растительности. Так, содержание изучаемого вида при посеве в чистом виде составляло от 13 до 49% у сорта Кривич и от 20 до 49% у сорта Ялгинский, при этом доля сорняков была в диапазоне 51–87%. В смешанных посевах содержание козлятника было еще ниже, но в этом случае сдерживающую роль внедрения сорной растительности обеспечивала тимфеевка луговая.

Анализ ботанического состава изучаемых травостоев показал, что содержание как сеяного бобового вида, так и сорных видов в большей степени зависит от сорта, чем от нормы высева: снижение ее вдвое (до 13 кг/га) способствует образованию сплошной бурьянистой заросли сегетальной растительности. По этой причине при закладке второго опыта в 2022 г. эта норма не была использована.



Таблица 7. Ботанический состав изучаемых травостоев в опыте № 1 (2021 г.), % по сухой массе  
Table 7. Botanical composition of the studied herbage in experiment № 1 (2021), % by dry weight

№ п/п	Варианты опыта	1-й учет			2-й учет		
		Сеяный бобовый вид	Сеяный злаковый вид	Насеянные виды	Сеяный бобовый вид	Сеяный злаковый вид	Насеянные виды
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Козлятник восточный (сорт Кривич) 50%	13,19	–	86,81	20,99	–	79,01
2	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75%	19,38	–	80,62	17,54	–	82,46
3	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100%	49,21	–	50,79	55,17	–	44,83
4	Козлятник восточный (сорт Кривич) 50% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	10,78	58,68	31,48	14,06	72,66	13,28
5	Козлятник восточный (сорт Кривич) 75% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	10,55	63,76	33,94	13,01	75,61	11,38
6	Козлятник восточный (сорт Кривич) 100% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	20,74	52,13	29,65	18,46	43,59	37,95
7	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 50%	20,34	–	79,66	15,18	–	84,82
8	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75%	20,27	–	79,73	45,83	–	54,17
9	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100%	45,40	–	54,60	35,44	–	64,56
10	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 50% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	33,17	48,29	18,54	5,81	79,65	14,53
11	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 75% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	2,11	72,48	25,39	12,97	77,09	9,92
12	Козлятник восточный (сорт Ялгинский) 100% + тимофеевка луговая (Ленинградская 204)	5	39,5	55,5	9,62	87,87	2,51

**Выводы.** Таким образом, на основании результатов проведения научно-исследовательской работы по изучению особенностей формирования травостоев с

козлятником восточным разных сортов в первые годы жизни в условиях Ленинградской области установлено:

1. На скорость прорастания семян козлятника восточного, имеющих твердую оболочку, решающее значение оказывает влагообеспеченность почвы, а показатель полевой всхожести зависит от выбора сорта.

2. Снижение посевной нормы на 50 и 25% не оказывает существенного влияния на увеличение полевой всхожести, в то же время способствует сильному засорению посевов, что негативно сказывается на урожайности фуражных травостоев.

3. Являясь типичным озимым видом по типу развития, козлятник восточный не обладает способностью обеспечить оптимальный уровень урожайности кормовой массы в год посева, длина побегов в высоту достигает даже при благоприятных погодных условиях осени лишь 18–26 см.

### Список источников литературы

1. Спиридонов, А.М. Многолетние бобовые травы в земледелии и кормопроизводстве Северо-Запада РФ / А.М. Спиридонов. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2021. – 192 с.
2. Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России / С.В. Сапрыкин, В.Н. Золотарев, И. С. Иванов и др. – Воронеж: АО «Воронежская областная типография», 2020. – 270 с.
3. Золотарев, В.Н. Травосеяние и семеноводство многолетних трав в структуре растениеводства как основа биологизации земледелия и развития кормопроизводства в региональном аспекте / В.Н. Золотарев, С.В. Сапрыкин // Кормопроизводство. – 2020. – № 5. – С. 16–34.
4. Никулин, А.Б. Эффективность возделывания бобовых и бобово-злаковых травостоев с козлятником восточным в Ленинградской области / А.Б. Никулин // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. – 2015. – № 41. – С.21.
5. Юнин, В.А. Интенсификация кормопроизводства в условиях Северо-Западного региона / В.А. Юнин, А.В. Зыков, Н.Н. Кузнецов // Технические науки в России и за рубежом: материалы V Международной научной конференции. – 2016. — С. 82–85.
6. Синицина, С.М. Состояние и перспективы селекции и семеноводства многолетних трав на Северо-Западе России / С.М. Синицина, А.М. Спиридонов, Т.А. Данилова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (48). – С. 11–19.
7. Донских, Н.А. Травостой с участием козлятника восточного десятого и одиннадцатого годов пользования / Н.А. Донских, А.Б. Никулин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2(51). – С. 17 – 23
8. Желтопузов, В.Н. Видовой состав и продуктивность многолетних травосмесей / В.Н. Желтопузов, И.А. Шпилов, Н.Т. Великдань // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 3(23). – С.16.
9. Донских, Н.А. Кормопроизводство – актуальные проблемы и перспективы его развития на современном этапе / Н.А. Донских // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – С. 54–58.
10. Agronomic and nutritional value of Sainfoin / Aufrere J. et. al. // Fourrages. – 2013. – P. 63–75.
11. Vignolio, O. R. Seed production of Lotus tenuis ( Fabaceae), a forage legume : effects of row spacing, seeding date, and plant defoliation / O. R. Vignolio, G. S. Cambareri, N. O. Maceira // Crop and Pasture Science. – 2011. – T. 61. – № 12. – P. 1027–1035.

### References

1. Spiridonov, A.M. (2021), *Mnogoletnie bobovy`e travy` v zemledelii i kormoproizvodstve Severo-Zapada RF* [Perennial leguminous grasses in agriculture and feed production of the North-West of the Russian Federation], Moscow; Berlin, Direct-Media, 192 p. (in Russ.)
2. Saprykin, S.V., Zolotarev, V.N., Ivanov I. S., et al. (2020), *Nauchny`e osnovy` selekcii i semenovodstva mnogoletnix trav v Central'no-Chernozemnom regione Rossii* [Scientific bases of breeding and seed production of perennial grasses in the Central Chernozem region of Russia], Voronezh, JSC "Voronezh Regional Printing House", 270 p. (in Russ.)

3. Zolotarev, V.N., Saprykin, S.V. (2020), Herbage and seed production of perennial grasses in the structure of crop production as a basis for biologization of agriculture and development of forage production in the regional aspect, *Forage production*, no. 5, pp. 16–34. (in Russ.)
4. Nikulin, A.B. (2015), Efficiency of cultivation of legumes and legume-cereal herbage with eastern goat in the Leningrad region, *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 41, p. 21. (in Russ.)
5. Yunin, V.A., Zikov, A.V., Kuznetsov, N.N. (2016), Intensification of feed production in the conditions of the North-Western region, *Technical sciences in Russia and abroad: materials of the International Vol. scientific conf.*, pp. 82–85. (in Russ.)
6. Sinitsina, S.M., Spiridonov, A.M., Danilova, T.A. (2017), The state and prospects of breeding and seed production of perennial grasses in the North-West of Russia, *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, № 3 (48), pp. 11–19. (in Russ.)
7. Donskikh, N.A., Nikulin, A.B. (2018), Herbage with the participation of the goat of the eastern tenth and eleventh years of use, *Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University*, № 2(51), pp. 17–23.
8. Zheltopuzov, V.N., Shipilov, I.A., Velikdan, N.T. (2016), Species composition and productivity of perennial grass mixtures, *Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol*, no. 3(23), p.16. (in Russ.)
9. Donskikh, N.A. (2015), Kormoprivodstvo – actual problems and prospects of its development at the present stage, *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 39, pp. 54–58. (in Russ.)
10. Aufrere, J., et al. (2013), Agronomic and nutritional value of the esparcet, *Fourrages*, pp. 63–75.
11. Vignolio, O. R., Kambareri, G.S., Maceira N.O. (2011), Seed production of the thin lotus (Fabaceae), fodder legume plant: the influence of row spacing, dates of sowing and defoliation of plants, *Plant breeding and pasture science*, vol. 61, no. 12, pp. 1027–1035.

#### Сведения об авторах

**Донских Нина Александровна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и луговодства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-code: 9974-7772, AuthorID: 313803

**Веселков Вячеслав Андреевич** – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

#### Information about the authors

**Nina A. Donskikh** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agriculture and Meadow Farming, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University" spin-code: 9974-7772, AuthorID: 313803

**Veselkov V. Andreevich** – postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. 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 the authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.

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

*Статья поступила в редакцию 17.02.2023; одобрена после рецензирования 17.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted to the editorial office on 17.02.2023; approved after review 17.03.2023; accepted for publication 27.03.2023*

Научная статья  
УДК 58:633.38  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-19-29

## ОСОБЕННОСТИ ПЛОДОНОШЕНИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЕМЯН ВОРОБЕЙНИКА КРАСНОКОРНЕВОГО (*LITHOSPERMUM ERYTHRORHIZON*)

Виктория Александровна Опалихина

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; opalihinaviktoria95@gmail.com;  
<https://orcid.org/0000-0001-7679-559X>

**Реферат.** В настоящее время возрастает интерес к использованию растений в медицине. Одним из ценных видов является воробейник краснокорневой (*Lithospermum erythrorhizon*) из семейства бурачниковых *Boraginaceae*, произрастающий на территориях Китая, Кореи, Японии, Дальнего Востока России. Его трава, корни и плоды содержат шиконин и другие ценные компоненты и широко используются в научной, народной и традиционной медицинах, в косметической промышленности, имеют перспективы применения в производстве пищевых продуктов. Научные исследования подтвердили, что растение и получаемый из него шиконин обладают широким спектром фармакологической активности и поэтому могут применяться при лечении инфекционных и кожных заболеваний, диабета, ожирения, астмы, панкреатита, артритов, опухолей, для заживления ран, обморожений и ожогов. Как антибактериальное средство шиконин эффективен даже против устойчивых к антибиотикам штаммов возбудителей раневых инфекций, пневмонии, кариеса и заболеваний пародонта. Благодаря способности подавлять рост и вызывать апоптоз раковых клеток, наличие синергетических свойств по отношению к химиотерапевтическим препаратам, шиконин и его производные могут применяться в комплексном лечении онкологических заболеваний.

Несмотря на высокую востребованность, растение слабо изучено. Цель настоящей статьи – исследовать структуру урожая, определить семенную продуктивность, химический состав эремов. Изучение роста, развития и особенностей семян воробейника краснокорневого на малом опытном поле СПбГАУ позволило установить фазы, выявить потенциальную урожайность и уровень семенной продуктивности, химический состав семян в условиях Ленинградской области. Биохимический анализ эремов показал 94,6% сухого вещества, 6,6 % белка, 27,6% клетчатки, 18,0% жира. Результаты анализа жирного масла воробейника краснокорневого показали, что в нем преобладают полиненасыщенные жирные кислоты. Результаты исследования подтверждают перспективность культивирования воробейника краснокорневого в Ленинградской области.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, воробейник краснокорневой, шиконин, нафтохиноновые производные, корневые волоски, фармакологическая активность, адгезивная биополимерная плёнка, эпидермис

**Цитирование.** Опалихина В.А. Особенности плодоношения и химический состав семян воробейника краснокорневого (*Lithospermum erythrorhizon*) // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С. 19–29.  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-19-29

**FRUITING FEATURES AND CHEMICAL COMPOSITION  
OF RED-ROOTED GROMWELL SEEDS (*LITHOSPERMUM ERYTHRORHIZON*)****Victorya A. Opalikhina**

Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia; opalihinaviktoria95@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7679-559X>

**Abstract.** Nowadays, there is growing interest in the use of plants in medicine. One of the valuable species is the red-rooted gromwell (*Lithospermum erythrorhizon*) from the borage family *Boraginaceae*, naturally occurring in China, Korea, Japan, and the Russian Far East. Its grass, roots and fruits contain shikonin and other valuable components and are widely used in scientific, folk and traditional medicine, in the cosmetic industry, and are promising in food industry. Scientific studies have confirmed that given plant and the shikonin derived from it have a wide spectrum of pharmacological activity and therefore can be used in the treatment of infectious and skin diseases, diabetes, obesity, asthma, pancreatitis, arthritis, tumors, wound healing, frostbite and burns. As an antibacterial agent, shikonin is effective even against antibiotic-resistant strains of pathogens of wound infections, pneumonia, caries, and periodontal disease. Due to the ability to inhibit growth and induce apoptosis of cancer cells, synergistic properties with respect to chemotherapeutic drugs, shikonin and its derivatives can be used in the complex treatment of oncological diseases. Despite the high demand, the plant is poorly studied. The purpose of this article is to investigate the structure of the crop, to determine the seed productivity, the chemical composition of the erems. The study of the cultivation of the red-rooted gromwell in the small experimental field of St. Petersburg State Agrarian University made it possible to establish the phenophases, to identify the potential yield and the level of seed productivity, the chemical composition of the seeds in the conditions of the Leningrad region. Biochemical analysis of erems showed 94.6% dry matter, 6.6% protein, 27.6% fiber, 18,0% fat. Fatty acid analysis of the oil showed that polyunsaturated fatty acids  $\alpha$ -linolenic (omega-3 group), the content of which reaches 40.2%, and linoleic (omega-6 group), the content of which reaches 17.53%, predominate in the red-rooted gromwell. The results of the study confirm the prospects of cultivation of the red-rooted gromwell in the Leningrad region.

**Keywords:** medicinal plants, red-rooted gromwell, shikonin, naphthoquinone derivatives, root hairs, pharmacological activity, adhesive biopolymer film, epidermis

**Citation:** Opalikhina, V.A. (2023), Fruiting features and chemical composition of red-rooted gromwell seeds (*Lithospermum erythrorhizon*), *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 19–29. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-19-29

**Введение.** В настоящее время во всем мире отмечается интерес к традиционной медицине, которая во многом основывается на использовании лекарственных растений, 40% лекарственных средств имеют растительное происхождение.

В научную медицину входят новые виды растений. Проводится изучение содержания в них биологически активных веществ, на их основе разработаны эффективные препараты, включая иммуномодулирующие, гепатопротекторные, противоопухолевые.

Одним из ценных лекарственных растений является воробейник краснокорневой (*Lithospermum erythrorhizon*). Он произрастает на территориях Китая, Кореи, Японии, Дальнего Востока России. Воробейник краснокорневой – многолетнее травянистое растение семейства бурачниковых (*Boraginaceae*). Корень тёмно-красный, стебель опушенный, прямой, достигает 50–100 см высоты, листья продолговато-ланцетные, опушённые. Цветы желтовато-белые мелкие, собраны в кисти (завитки), окружены прямыми, довольно рыхлыми прицветными листьями. Плодом воробейника краснокорневого является ценобий, который состоит из 4 беловатых, достигающих длины 3–4 мм орешковидных долей – эремов (Флора СССР, 1953). Поскольку семена не освобождаются от перикарпия, слова «семена» и «эремы» часто являются синонимами.

Изучение химического состава воробейника краснокорневого и вопросы его применения являются предметом исследования учёных многих стран.

В качестве лекарственного сырья используют корни, листья и плоды как в научной, так и в народной и традиционных медицинах. Трава, корни и плоды воробейника краснокорневого содержат углеводы, циклитолы и их производные, фенолкарбоновые кислоты (литоспермовая, кофейная), монотерпеноиды и их предшественников, алкалоиды, эфирные масла, флавоноиды, нафтохиноны, в т. ч. шиконин. В семенах обнаружены соединения парабенон, β-ситостерол, даукостерол, лютеолин, аллантион, жирное масло, которое применяется в медицине и косметике [1–2].

Основным действующим веществом воробейника краснокорневого является шиконин – органическое соединение из класса нафтохинонов.

Нафтохиноновые производные шиконина вырабатываются в определённое время особыми клетками корня (пограничными клетками и корневыми волосками) воробейника краснокорневого и содержатся на внешней поверхности корней, присутствуя в виде низкомолекулярных эфиров жирных кислот (Brigham L. A., etc., 1999).

Учёными разработаны способы промышленного получения шиконина: сверхкритическая жидкостная экстракция; высокоскоростная противоточная хроматография; ультразвуковое экстрагирование (Lu H. T., etc., 2004).

Шиконин обладает широким спектром фармакологической активности. Исследования, проведённые в Японии, Кореи, Китае, России и других странах, подтвердили антибактериальные, противогрибковые, противовирусные, антипаразитарные, противовоспалительные, антиоксидантные, кровоочистительные, слабительные, тонизирующие, жаропонижающие, сахароснижающие, противоаллергические, нефропротекторные, кардиопротекторные, гепатопротекторные, мочегонные, жиросжигающие, противоопухолевые, иммуномодуляторные свойства воробейника краснокорневого и содержащегося в нём шиконина. Поэтому экстракт растения и получаемый из него шиконин могут применяться при лечении кори, экземы, дерматитов, псориаза, диабета, ожирения, астмы, фиброза, панкреатита, трофических язв, ишемической болезни сердца, атеросклероза, рожистых воспалений, язвенной болезни желудка, ревматоидного артрита, остеоартрита, герпеса, простудных заболеваний, опухолей, сердечной недостаточности, для заживления ран, обморожений и ожогов, в гинекологии [2–4].

Отвар используют при инфекционных заболеваниях (корь, ветряная оспа, скарлатина), для промывания гнойных ран, ожогов, укусов насекомых (Вульф Е. В., Малеева О. Ф., 1969).

Экстракт данного растения оказывает мочегонное, жаропонижающее, кровоочистительное, кардиотоническое, антисептическое и противоопухолевое действие, а также применяется как противоядие при укусах насекомых (У. Вэй Синь, 2011).

Сушеный корень воробейника краснокорневого обладает значительным фармакологическим эффектом как антибактериальное средство, а также он активно способствует формированию грануляционной ткани и может оказывать противоязвенное воздействие.

Противогрибковые свойства экстракта воробейника делают его эффективным средством лечения инфекций, вызванных *Candida albicans*.

Антибактериальные свойства растения и получаемого из него шиконина позволяют предупреждать инфицирование ран бактериями *Staphylococcus aureus*, лечить пневмонию, вызванную *Streptococcus pneumoniae*, бороться с кариесом и другими болезнями полости рта, вызываемыми *Porphyromonas gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus acidophilus*. Шиконин эффективен даже против устойчивых к антибиотикам штаммов этих патогенных и условно-патогенных бактерий [2–4].

Шиконин и его производные способны подавлять рост раковых клеток и вызывать их апоптоз, они обладают синергетическим действием по отношению к химиотерапевтическим препаратам, поэтому их можно применять в комплексном лечении онкологических заболеваний [5–8].

Экстракт воробейника и получаемый из него шиконин способен защитить клетки эпидермиса от повреждения УФ излучением, увлажняет кожу, а также обладает свойствами натурального красителя, в связи с этим он широко применяется в косметической промышленности.

Гель с нафтохиноновым комплексом биологически активных веществ воробейника краснокорневого может служить для лечения инфекционно-воспалительных процессов на коже, включая кожу лица; обеспечивает местное пролонгированное действие; защищает зону поражения после нанесения и высыхания геля от внешних факторов [9].

Возможно использование экстракта данного растения в пищевой промышленности в качестве натурального консерванта и красителя [10].

Помимо медицины, воробейник краснокорневой и получаемый из него шиконин применяются в косметической, текстильной и пищевой промышленности.

В настоящее время изучаются агротехника и селекция воробейника краснокорневого [11–13].

В Корее выведен высокоурожайный сорт Daehong, дающий 45.6 кг/10 а семян, 221 кг/10 а сухой массы корней и содержащий повышенное (в 1,3 раза по сравнению с контролем) количество шиконина – 447 мкг/г [12].

Эремы воробейника обладают комбинированным покоем, обусловленным сочетанием эндогенных и экзогенных факторов, что затрудняет его промышленное выращивание и объясняет слабую изученность его семенного размножения в условиях культуры.

Согласно данным исследований в Корее, оптимальная температура для прорастания воробейника краснокорневого 15–20 °С (An T. J., etc., 2013), увеличить всхожесть семян способны такие стимуляторы, как гиббереллин и кинетин (Kim D.H., etc., 2014).

Перспективным является возделывание воробейника краснокорневого путём высадки в грунт растений из горшков, в которых они выросли из предварительно пророщенных семян [13].

Таким образом, воробейник краснокорневой – важное растение для фармакологической и косметической отрасли и перспективное для пищевой промышленности. Несмотря на высокую востребованность воробейника краснокорневого, данное растение остаётся слабоизученным. Поэтому исследование биоэкологических особенностей его плодоношения является актуальным.

**Цель исследования** – изучить особенности плодоношения и структуру урожая, определить семенную продуктивность, химический состав семян воробейника краснокорневого.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Экспериментальная работа и наблюдения проводились на малом опытном поле СПбГАУ. Объектом исследования был образец вида воробейника краснокорневого, семена которого получены из Ботанического сада имени Петра Великого. Данное исследование – продолжение интродукционного изучения воробейника, проводимого в питомнике лекарственных и эфиромасличных растений с 2004 г.

Почвы опытного участка – дерново-карбонатные среднесуглинистые, пахотный слой достигает 23,9 см, содержание гумуса – 4,31%.

Закладка опыта была проведена по общепринятой методике Доспехова Б.А. (1985). Размер делянок 1,5х5,5 м, повторность трёхкратная. Наблюдения за ростом и развитием воробейника проводились по принятым методикам для интродуцентов и лекарственных растений (Атлас лекарственных растений, 2006; Майсурадзе Н.И., 1984).

В течение вегетационного периода проводились рыхление, прополка и полив. Сбор генеративных побегов с целью изучения структуры урожая проводился в сентябре после созревания 50% эремов. Семенную продуктивность определяли по методике Р.Е. Левиной (Методические указания по семеноведению интродуцентов, 1980).

Семена после сушки побегов и дозревания обмолачивались вручную и очищались от примесей с помощью сита для определения массы 1000 эремов (семян), которое проводилось по ГОСТу (ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян).

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

Содержание белка в эремах определяли по методу Кьельдаля. Анализ семян на содержание жира проводили по ГОСТ ISO 659-2017 (Семена масличных культур. Определение содержания масла). ЖКС масла семян исследовали на хроматографе «Agilent 6850» с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD фирмы «Agilent Technologies» (США). Метилловые эфиры жирных кислот разделяли на полярной колонке Omagawax ТМ 250, полиэтиленгликоль (30,0 м, 250,00 мкм, 0,25 мкм; США) при условиях: программа нагрева – от 170°С до 220°С, скорость 3°С/мин, температура инжектора – 300°С, детектора – 250°С, скорость гелия 1,3 мл/мин. Хроматограммы обрабатывались с помощью программ «AMDIS 32» Version 2.69, 2010 и «UniChrom ТМ, 2010». Идентификация жирных кислот проводилась с использованием стандартной смеси метиловых эфиров жирных кислот (37 компонентов, 47885U, Supelco, США).

На рост и развитие растений, а значит, и на урожайность, оказывают большое влияние погодные условия, поэтому был проведён их анализ за 2019–2022 гг. Климат Ленинградской области – умеренный, переходный от океанического к континентальному, зима умеренно мягкая, лето – умеренно тёплое. Главная особенность климата – непостоянство погоды, причиной которого является частая смена воздушных масс. Перепады температуры воздуха



при этом могут достигать  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  и более. Средняя продолжительность вегетационного периода с активными температурами выше  $+5^{\circ}\text{C}$  составляет 190–197 дней, с температурой выше  $+10^{\circ}\text{C}$  – 135–160 дней. Температура за период наблюдений отображена на рис. 1, сумма осадков – на рис. 2.

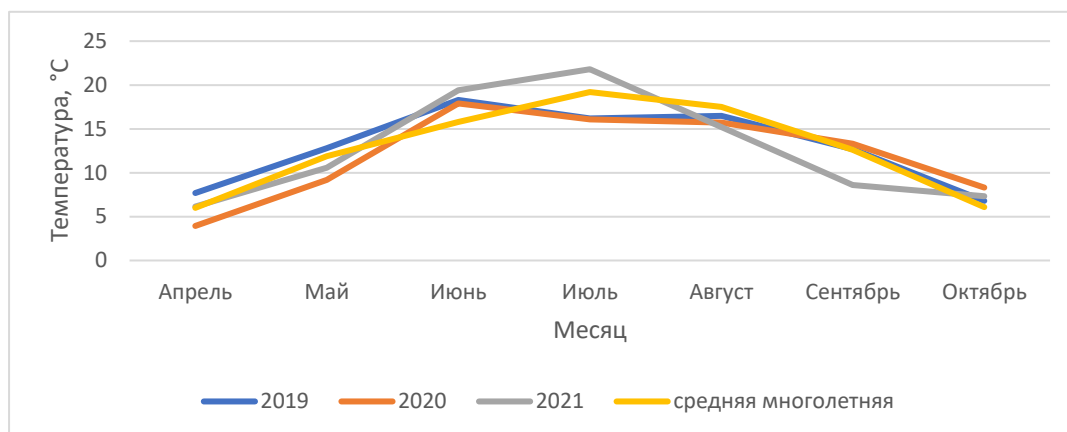


Рисунок 1. Среднемесячная температура воздуха в течение вегетационных периодов 2019–2022 гг.,  $^{\circ}\text{C}$

Figure 1. Average monthly air temperature during the growing seasons 2019–2022,  $^{\circ}\text{C}$

Устойчивый переход температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  отмечен в 2020 г. 1 апреля, зимний – 4 января 2021 г.; через  $5^{\circ}\text{C}$  – 1 мая и 20 ноября; через  $10^{\circ}\text{C}$  – 23 мая, 9 ноября; через  $15^{\circ}\text{C}$  – 7 июня, 6 октября.

В мае и августе 2021 г. температура была ниже средних многолетних значений, июнь и июль были жаркими, в мае и августе количество осадков было избыточным, апрель, июнь, июль характеризовались засушливыми условиями.

Устойчивый переход среднесуточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  в 2021 г. отмечен 22 марта, 27 ноября; через  $5^{\circ}\text{C}$  – 9 апреля, 6 ноября; через  $10^{\circ}\text{C}$  – 10 мая, 14 сентября; через  $15^{\circ}\text{C}$  – 4 июня, 20 сентября.

В 2022 г. температуры апреля и мая были незначительно холоднее нормы, в июне и июле – незначительно теплее, август был теплее, а сентябрь холоднее нормы.

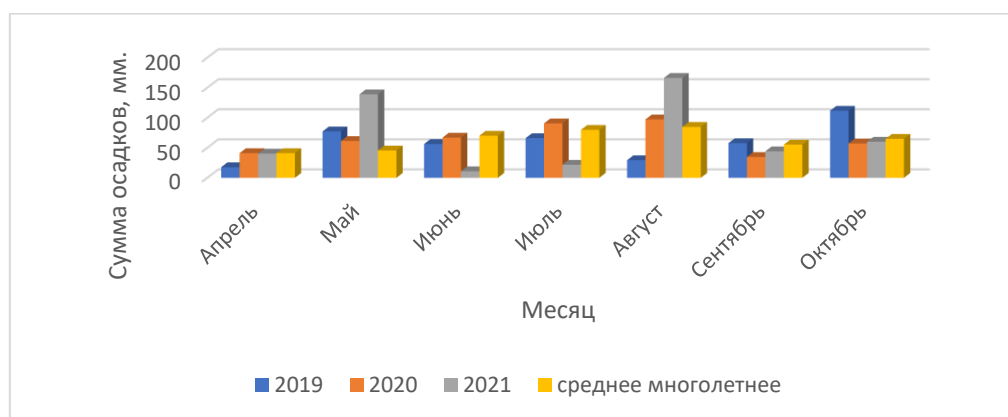


Рисунок 2. Среднемесячная и средняя многолетняя сумма осадков в течение вегетационных периодов 2019–2022 гг.

Figure 2. Average monthly and average long-term precipitation during the growing seasons 2019–2022

Устойчивый переход температуры через 0 °С в 2022 г. отмечен 7апреля, 18 ноября; через 5 °С – 18 апреля и 30 октября; через 10 °С – 23 мая и 17 октября; через 15 °С – 8 июня и 31 августа.

**Результаты исследований.** Наблюдение за фенофазами воробейника краснокорневого на малом опытном поле СПбГАУ позволило проанализировать динамику развития и особенности самой длительной фазы – плодоношения (табл. 1).

Таблица 1. Фенофазы воробейника краснокорневого  
Table 1. Phenophases of the red-rooted gromwell

Фенофаза	Средняя дата наступления	2021 г.	2022 г.
Весеннее отрастание	17 апреля – 10 мая	Начало мая	28 апреля
Бутонизация	Первая–вторая декада июня	03 июня	первая декада июня
Начало цветения	Вторая–третья декада июня	08 июня	14 июня
Массовое цветение	2 декада июля	11–21 июня	20–27 июня
Плодоношение	2 декада июля – 2 декада сентября	17 июня– 21 сентября	25 июня– 21 сентября

Как видно из табл. 1, отрастание воробейника краснокорневого начинается в середине апреля — начале мая, к июню высота растений достигает 50–90 см. В зависимости от погодных условий начало фазы бутонизации отмечается в начале – середине июня, цветение наступает через 7–10 дней и длится 35–40 дней. Плодоношение начинается в середине июля, средняя продолжительность созревания плодов 22–30 дней.

Продолжительность фаз развития воробейника краснокорневого показана на рис. 3.

Фазы бутонизации и цветения проходили в условиях повышенной температуры и недостатка влаги, а плодоношение – при перепадах температуры и влажности. Фазы цветения и плодоношения в 2021 г. наступили раньше, чем в 2022 г., что можно объяснить влиянием более жаркого лета. Жаркое лето способствовало более ускоренному прохождению в 2021 г. некоторых фенофаз. Общая продолжительность вегетационного периода составила 139 дней в 2021 г. и 146 дней в 2022 г.

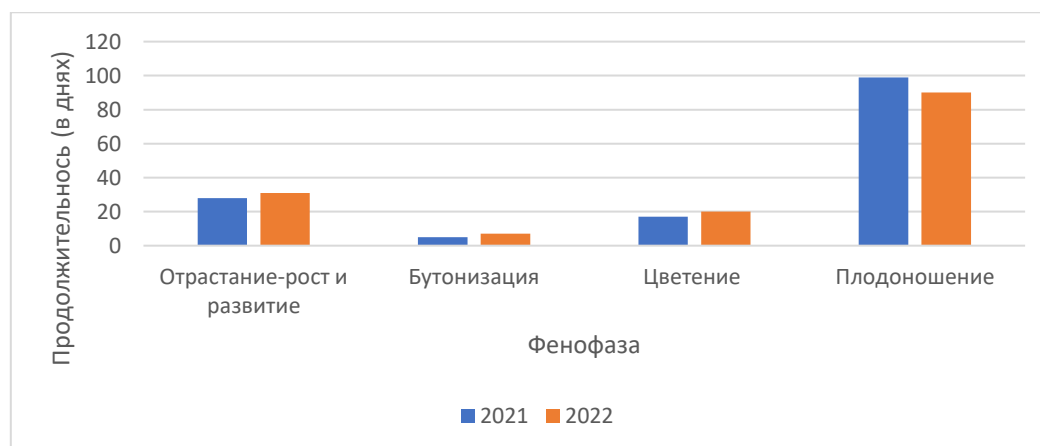


Рисунок 3. Продолжительность фенологических фаз воробейника краснокорневого  
Figure 3. The duration of the phenological phases of the red-rooted gromwell

Сопоставление данных по структуре урожая и морфометрическим характеристикам (табл. 2) воробейника краснокорневого показало, что они варьируются по годам. Варьировали такие показатели, как число соцветий на растении, среднее число цветков в соцветии, число эремов в соцветии и на растении, масса 1000 семян, коэффициент семенной продуктивности и урожайность.

Таблица 2. Структура урожайности воробейника краснокорневого  
Table 2. Yield structure of the red-rooted gromwell

Морфологические показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Число завитков 1-го порядка на растении, шт.	11,2	21,8	10,3	17,6
Число завитков 2-го порядка на растении, шт.	4,1	11,3	3,3	9,6
Число соцветий на растении, шт.	15,4	33	14	27,2
Среднее число цветков в завитках 1-го порядка, шт.	58,3	178,6	55,1	128,6
Среднее число цветков в завитках 2-го порядка, шт.	11	51,3	9,9	37,9
Среднее число эремов в завитках 1-го порядка, шт.	104,9	321,5	91,1	205,8
Среднее число эремов в завитках 2-го порядка, шт.	19,8	92,3	17,7	60,6
Число эремов на растении, шт.	1262	8021	1475	4203
Масса 1000 эремов, г	11,1	13	6,9	13
Семенная продуктивность 1 растения, г	13,9	104,4	10,2	54,6
Коэффициент семенной продуктивности, %	44,7	45,1	40,5	40
Урожайность семян, г/м <sup>2</sup>	8	60	2	30

Из данных табл. 2 видно, что масса 1000 эремов варьировала от 6,9 до 13 г. и была наивысшей в 2020 и 2022 гг., коэффициент семенной продуктивности составлял от 40 до 44,7 и был наибольшим в 2020 г. Урожайность семян составила от 2 до 60 г/м<sup>2</sup>, наивысшей она была в 2020 г. В 2021 г. жаркое лето снизило семенную продуктивность.

Формирование плодов и семян зависит от эффективности опыления. Воробейник краснокорневой является энтомофильным растением, по наблюдениям на опытном поле его опыляют медоносные пчёлы, а также шмели, муравьи и трипсы.

Плоды начинают формироваться через 5–10 дней после опыления. Плод у воробейника невскрывающийся, дробный – ценобий, состоящий из 4 орешковидных долей – эремов, из которых обычно развиваются 1–3. При созревании происходит изменение цвета эремов: зелёные плоды меняют окраску сначала на коричневую, затем на чёрную, и, наконец, становятся белыми.

По способу распространения семян воробейник краснокорневой можно отнести к баллистам. Данные растения разбрасывают свои семена на небольшие расстояния. Созревание эремов происходит не одновременно, а растянуто. Созревшие эремы могут опадать при раскачивании побегов любыми внешними факторами, например ветром, животными, человеком. Чтобы избежать потери урожая, его убирают, когда созревают (становятся белыми) 50% эремов.

Эремы очень твердые, перикарпий снаружи имеет покрытый кутикулой эпидермис. Эпидермис перикарпия состоит из содержащих соли кальция и кремний минерализованных клеток. Наружные стенки клеток эпидермиса значительно более утолщённые, чем внутренние. Форма боковых стенок клеток волнистая.

Под наружной эпидермой расположен мощный многорядный слой склеренхимных минерализованных клеток. Это – каменистые клетки мезокарпия. Внутренний эпидермис перикарпия тонкостенный с пигментированной семенной кожурой, состоит из 4–5 рядов клеток. Очевидно, что наружный эпидермис и каменистый мезокарпий определяют экзогенный покой эремов.

Учитывая перспективность применения семян в фармакологической и косметической промышленности, мы провели их биохимический анализ. Он показал 94,6% сухого вещества, 6,6% белка, 27,6% клетчатки, 18,0% жира.

Жирнокислотный анализ полученного масла показал, что у воробейника краснокорневого преобладают полиненасыщенные жирные кислоты:  $\alpha$ -линоленовая (группа омега-3), содержание которой достигает 40,19%, и линолевая (группа омега-6) – 17,53%. Данные жирные кислоты являются незаменимыми для человека. Также семена воробейника могут служить источником  $\gamma$ -линоленовой и стеаридониковой кислоты с содержанием – 15,20 и 7,05% соответственно; олеиновой – 10,16%; пальмитиновой – 6,54%; гадолеиновой – 1,33%. Остальные компоненты жирного масла присутствовали в десятых и сотых долях процента.

Данные анализа позволяют рассматривать жирное масло семян воробейника краснокорневого как источник незаменимых полиненасыщенных жирных кислот масла в качестве биодобавок омега 3 и в косметических целях.

**Выводы.** Таким образом, настоящее исследование показало, что прохождение фенофаз воробейника краснокорневого в определённой степени зависит от погодных условий. Фаза плодоношения очень растянута и в 2021–2022 гг. длилась 96 и 88 дней соответственно. При созревании эремы меняют окраску. Общая продолжительность вегетационного периода составила 139–146 дней. Также от погоды зависит его семенная продуктивность и урожайность, масса 1000 семян. Максимальная урожайность семян достигала 60 г/ м<sup>2</sup>. В жирном масле преобладают полиненасыщенные жирные кислоты, поэтому оно может служить их перспективным источником для фармацевтической и косметической промышленности.

#### Список источников литературы

1. Найда, Н.М. Морфобиологические особенности воробейника краснокорневого в условиях Ленинградской области / Н.М. Найда, В.А. Опалихина // Вестник Студенческого научного общества. – 2018. – Т. 9. – № 1. – С. 63–64.
2. Pharmacological and analytical aspects of alkannin/shikonin and their derivatives: An update from 2008 to 2022 / K. Kaur, R. Sharma, A. Singh, S. Attri, S. Arora // Chinese Herbal Medicines. – 2022. – Vol. 14, issue 4. – P. 511–527.
3. Pharmacological properties and derivatives of shikonin—A review in recent years / C. Guo, J. He, X. Song, L. Tan, M. Wang, P. Jiang // Pharmacological Research. – 2019. – Vol. 149:104463.
4. Pharmacology, toxicity and pharmacokinetics of acetylshikonin: a review 2020 / Z. Zhang, J. Bai, Y. Zeng, M. Cai, Y. Yao, H. Wu // Pharmaceutical Biology. – 2020. – Vol. 58, issue 1.
5. Shikonin derivatives for cancer prevention and therapy. Cancer letters / J.C. Boulos, M. Rahama, MEF Hegazy, T. Efferth. – Elsevier, 2019.
6. Spectrum-effect relationship for anti-tumor activity of shikonins and shikonofurans in medicinal Zicao by UHPLC-MS/MS and chemometric approaches / M. Liao, P. Yan, X. Liu, Z. Du, S. Jia, R.

- Aybek, A. Li, S. Kaisa, H. Jiang // *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. – 2020. – Jan 1.
7. Quinonoids: Therapeutic Potential for Lung Cancer Treatment / H.Z. Ying, C.H. Yu, H.K. Chen, H.H. Zhang, J. Fang, F. Wu, W.Y. Yu. // *BioMed Research International*. – 2020.– Vol. 1, 2. |Article ID 2460565 | 13pages. – URL: <https://doi.org/10.1155/2020/2460565> (accessed: 22.02.23).
  8. RNA-seq transcriptome analysis of breast cancer cell lines under shikonin treatment / K.H. Lin, M.Y. Huang, W.C. Cheng, S.C. Wang, S. H. Fang, et al. // *Scientific reports*, 2018. – doi: 10.1038/s41598-018-21065-x
  9. Патент № 2657548 Российская Федерация. Гель с нафтохиноновым комплексом биологически активных веществ воробейника краснокорневого: RU 2657548 C1, заяв. 06.07.2017; опубл. 14.06.2018 / Л.М. Захаревич, А. Я. Башаров, Е.В. Слободенюк, В. П. Булгаков, Н. В. Стрельникова.
  10. Клубукова, Д. Л. Применение природного нафтохинона в продуктах питания животного происхождения / Д. Л. Клубукова, Н. Г. Машенцева, В. А. Будаева // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2018. – № 2. – С. 62–63.
  11. Demonstration Study on the Crops Cultivation Technology for High Quality and Stabled Medicinal Herbals Production in *Lithospermum erythrorhizon* Sieb. et Zuc. / MS Kim, HS An, GJ Kim, YS Kim, JG Choi // *Korean medicinal plant society*. – 2017.–Vol. 25(2). – P. 25.
  12. Kim MS, Lee YS, Lim SH, Kim DK, Kim YS (2016), A New High-Quality, High-Yielding *Lithospermum erythrorhizon* Cultivar “Daehong” // *The Korean Society of Medicinal Crop Science*. – Vol. 05. – P. 67–67 (1 page).
  13. Опыт выращивания воробейника краснокорневого в условиях Северного Казахстана / А.Ж. Барайсова, Е.А. Сайб, И.Г. Воробьева, В.И. Лошенко, О.И. Просенко, А.В. Сахаров // *Актуальные проблемы биологической и химической экологии: материалы VII Международной научно-практической конференции*. – Москва, 2021. – С. 67–71.

#### References

1. Najda, N.M., Opalikhina, V.A. (2018), Morphobiological features of the red-rooted sparrow in the conditions of the Leningrad region, *Vestnik Studencheskogo nauchnogo obshchestva*, vol. 9, no. 1, pp. 63–64. (in Russ.)
2. Kaur, K., Sharma, R., Singh, A., Attri, S., Arora, S. (2022), Pharmacological and analytical aspects of alkannin/shikonin and their derivatives: An update from 2008 to 2022, *Chinese Herbal Medicines*, vol. 14, issue 4, pp. 511–527.
3. Guo, C., He, J., Song, X., Tan, L., Wang, M., Jiang, P. (2019), Pharmacological properties and derivatives of shikonin—A review in recent years, *Pharmacological Research*, vol. 149, November, 104463.
4. Zhang, Z., Bai, J., Zeng, Y., Cai, M., Yao, Y., Wu, H. (2020), Pharmacology, toxicity and pharmacokinetics of acetylshikonin: a review, *Pharmaceutical Biology*, vol. 58, issue 1.
5. Boulos, J.C., Rahama, M., Hegazy, MEF, Efferth, T. (2019), *Shikonin derivatives for cancer prevention and therapy*, Cancer letters, Elsevier.
6. Liao, M., Yan, P., Liu, X., Du, Z., Jia, S., Aybek, R., Li, A., Kaisa, S., Jiang, H. (2020), Spectrum-effect relationship for anti-tumor activity of shikonins and shikonofurans in medicinal Zicao by UHPLC-MS/MS and chemometric approaches, *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, Jan 1.
7. Ying, H.Z., Yu, C.H., Chen, H.K., Zhang, H.H., Fang, J., Wu, F., Yu, W.Y. (2020), Quinonoids: Therapeutic Potential for Lung Cancer Treatment, *BioMed Research International*, Vol. 1, 2, Article ID 2460565, 13 pages, available: <https://doi.org/10.1155/2020/2460565> (accessed 22.02.2023).
8. Lin, KH6, Huang, MY, Cheng, WC, Wang, SC, Fang, SH., et al. (2018), RNA-seq transcriptome analysis of breast cancer cell lines under shikonin treatment, *Scientific reports*, DOI:10.1038/s41598-018-21065-x
9. Patent № 2657548 Russian Federation, *Gel' s naftohinonovym kompleksom biologicheskii aktivnyh veshchestv vorobejnika krasnokornevogo*, Zaharevich L.M., Basharov A. YA., Slobodenyuk E.V., Bulgakov V. P., Strel'nikova N. V. , RU 2657548 C1, 06.07.2017, publ. 14.06.2018. (in Russ.)
10. Klabukova, D.L, Mashenceva, N.G, Budaeva, V.A. (2018), The use of natural naphthoquinone in foods of animal origin, *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya*, no. 2, pp. 62–63. (in Russ.)

11. Kim, MS, An, HS, Kim, GJ, Kim, YS, Choi, JG (2017), Demonstration Study on the Crops Cultivation Technology for High Quality and Stabled Medicinal Herbs Production in *Lithospermum erythrorhizon* Sieb. et Zuc., *Korean medicinal plant society*, vol. 25(2), p. 25.
12. Kim, MS, Lee, YS, Lim, SH, Kim, DK, Kim, YS (2016), A New High-Quality, High-Yielding *Lithospermum erythrorhizon* Cultivar “Daehong”, *The Korean Society of Medicinal Crop Science*, vol. 05, pp. 67–67 (1 page).
13. Baraisova, A.Zh., Sajb, E.A., Vorob'jova, I.G., Loshenko, V.I., Prosenko, O.I, Saharov, A.V. (2021), Опы́т вы́рashhивания vorobejnika krasnokornevogo v usloviyax Severnogo Kazaxstana [Growing experiment for the red-rooted gromwell in the conditions of Northern Kazakhstan], *Aktual'nye problemy biologicheskoy i himicheskoy jekologii. Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Moskva, pp. 67–71. (in Russ.)

#### Сведения об авторе

**Виктория Александровна Опалихина** – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 1596-4902.

#### Information about author

**Victorya Alexandrovna Opalikhina** – postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 1596-4902.

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимала непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомилась и одобрила представленный окончательный вариант.

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.11.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 01.11.2022; approved after reviewing 10.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 634. 4

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-30-40

**КИНЕТИКА РАЗВИТИЯ ГРИБОВ-ЗООГЛЕЕВ  
*MEDUSOMYCES GISEVI* И *ORYZAMYCES INDICIA* РГЦ:  
ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ**

**Вячеслав Борисович Тишин<sup>1</sup>, Рита Александровна Фёдорова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ritaalexfedorova@gmail.com;  
<http://orcid.org/0000-0002-7778-067X>

**Реферат.** В статье приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований культивирования грибов-зооглеев *Medusomyces gisevi* (чайный) и *Oryzomyces indicia* РГЦ (рисовый). Настои отличаются высокими целебными и вкусовыми качествами благодаря наличию в них различных биологически активных веществ – органических кислот, витаминов, алкалоидов, антибиотиков. Цель исследования – изучение влияния различных факторов на развитие двух грибов-зооглеев – чайного и рисового и определение возможностей разработки общей математической модели для них с целью прогнозирования течения микробиологических процессов в широком временном диапазоне. Особое внимание уделено исследованию кинетики развития чайного и рисового грибов на первой и второй стадии культивирования. Такой подход к изучению кинетических закономерностей развития грибов-зооглеев обусловлен несколькими причинами. Во-первых, в этот период начинается формирование общего химического состава настоев; во-вторых, важно найти время перехода от одной стадии к другой; в-третьих, сведения о таких исследованиях в литературе встречаются крайне редко. На основе ранее выполненных экспериментальных исследований осуществлён подбор уравнений, описывающих течение в культуральной среде некоторых физических и биологических процессов. В основу поиска математических моделей кинетических закономерностей развития грибов-зооглеев положены результаты экспериментальных исследований различных авторов по их культивированию. Было установлено несколько периодов развития грибов начальной стадии культивирования, в течение которых, благодаря наличию растворённого в культуральной среде кислорода, образуются кислоты низкой и высокой активности. Определены временные границы между периодами. Подобраны уравнения, описывающие кинетику частных биологических процессов, протекающих в культуральных средах, позволившие раскрыть их суть в различных стадиях и периодах культивирования. Объяснён физический и биологический смысл некоторых входящих в уравнения ММ эмпирических коэффициентов и показателей степеней.

**Ключевые слова:** кинетика, культивирование, грибы-зооглеи, период, стадия, гриб чайный, рисовый гриб, математическая модель

**Цитирование.** Тишин В.Б., Фёдорова Р.А. Кинетика развития грибов-зооглеев *Medusomyces gisevi* и *Oryzomyces indicia* РГЦ: закономерности и проблемы математического описания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(70). – С. 30–40. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-30-40

**DEVELOPMENT KINETICS OF ZOOGLOEA FUNGI  
MEDUSOMYCES GISEVI AND ORYZAMYCES INDICIA RGC:  
REGULARITIES AND PROBLEMS OF MATHEMATICAL DESCRIPTION**

**Vyacheslav B. Tishin<sup>1</sup>, Rita A. Fedorova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, 2 Peterburgskoe shosse, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, 2 Peterburgskoe shosse, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia; ritaalexfedorova@gmail.com / http://orcid.org/0000-0002-7778-067X

**Abstract.** The article presents the results of experimental and theoretical studies of the cultivation of fungi-zoogloea *Medusomyces gisevi* (tea) and *Oryzomyces indicia* RSC (rice). Infusions are characterized by high healing and taste qualities due to the presence of various biologically active substances in them – organic acids, vitamins, alkaloids, antibiotics. The aim of the study is to study the influence of various factors on the development of two zoogloea fungi – tea and rice and to determine the possibilities of developing a general mathematical model for them in order to predict the course of microbiological processes in a wide time range. Particular attention is paid to the study of the kinetics of the development of tea and rice mushrooms at the first and second stages of cultivation. This approach to the study of kinetic patterns of development of zoogloea fungi is due to several reasons. Firstly, during this period, the formation of the general chemical composition of infusions begins; secondly, it is important to find the time of transition from one stage to another; thirdly, information about such studies in the literature is extremely rare. Based on previously performed experimental studies, the selection of equations describing the flow of some physical and biological processes in the culture medium was carried out. The search for mathematical models of kinetic patterns of the development of zoogloea fungi is based on the results of experimental studies by various authors on their cultivation. Several periods of development of mushroom of the initial stage of cultivation have been established, during which, due to the presence of oxygen dissolved in the culture medium, acids of low and high activity are formed. The time boundaries between the periods are defined. The equations describing the kinetics of particular biological processes occurring in culture media were selected, which allowed to reveal their essence in various stages and periods of cultivation. The physical and biological meaning of some empirical coefficients and exponents included in the MM equations is explained.

**Keywords:** *kinetics, cultivation, fungi-zoogloea, period, stage, tea mushroom, rice mushroom, mathematical mode*

**Citation.** Tishin, V.B., Fedorova, R.A. (2023), Development kinetics of zoogloea fungi *Medusomyces Gisevi* and *Oryzomyces Indicia* RGC: regularities and problems of mathematical description, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 30–40. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-30-40



**Введение.** Настои грибов-зооглеев *Medusomyces gisevi* («чайный» гриб) и *Oryzomyces indicia* РГЦ («рисовый» гриб) отличаются высокими целебными и вкусовыми качествами, причиной тому является способность выделения ими различных метаболитов, состоящих из биологически активных веществ – органических кислот, алкалоидов, антибиотиков, витаминов и т. п. [1–7].

Постоянно расширяются области применения настоев указанных грибов. Имеются сведения об использовании их в медицине (Beth Ann Petro. The Book of Kombucha / A.P. Beth. – Ulysses Press, 1996. – 147 p.), животноводстве [1], производстве различного рода напитков [4; 5; 6; 7], молочных продуктов [8; 9], хлебобулочных изделий [10; 11], бактериальной целлюлозы [12] и пр. Обширный анализ литературных данных по морфологии, физиологии и практическому использованию продуцентов «чайного» гриба в различных отраслях промышленности представлен в работах [13; 14].

Постоянно возрастающая потребность в продуктах метаболизма грибов-зооглеев ставит задачи налаживания выпуска их настоев в промышленных масштабах, что в свою очередь требует более глубоких знаний в области физико-химических и микробиологических особенностей их развития, изучения кинетических закономерностей протекания метаболических процессов в различные периоды культивирования и их математического описания. Поэтому интерес к исследованиям кинетических закономерностей развития грибов-зооглеев не только не уменьшается, но и постоянно растет по мере расширения областей применения человеком продуктов их метаболизма.

**Целью исследований** является сравнительный анализ и обобщение имеющихся экспериментальных и теоретических данных по изучению влияния на развитие двух грибов-зооглеев (чайного и рисового) различных факторов и поиск возможностей разработки общей математической модели, адекватно отражающей течение биологических процессов на основе уравнений, описывающих их частные варианты.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Подробный и интересный сравнительный анализ морфологических и биохимических свойств двух грибов-зооглеев описан в работах [1–7]. Исходя из исследований этих авторов можно установить, что между рассматриваемыми в данной статье видами грибов-зооглеев есть много общего и немало различий. Мы не будем здесь останавливаться подробно на этом, а выделим лишь те аспекты, которые важны для решения поставленных задач.

Прежде чем переходить к сравнительному анализу двух грибов-зооглеев, обратим внимание на сложности, которые при этом могут возникнуть. Дело в том, что приводимые в литературе [1; 5; 6; 7] экспериментальные данные имеют различные размерности. Поэтому в дальнейшем с целью облегчения решения поставленной задачи мы преимущественно будем проводить обработку экспериментальных данных в безразмерном варианте в виде отношений текущих значений изучаемых параметров к их начальным величинам: концентрации кислорода –  $O_0$ , субстрата –  $S_0$ , кислот –  $K_0$ , массы микроорганизмов –  $G_0$  и  $pH_0$  настоев (здесь и далее индекс «0» означает начальные значения параметров). Данные исследований приведены в размерных и безразмерных видах:  $p\bar{H} = pH / pH_0$ ,  $\bar{K} = K / K_0$ ,  $\bar{O} = O / O_0$ ,  $\bar{G} = G / G_0$ .

Однако безразмерная обработка опытных значений требует знания величин начальных параметров. К сожалению, такие значения в источниках литературы не всегда приводятся. Так, при обработке опытных величин, выполненных с рисовым грибом авторами работы [5],

возникла сложность из-за отсутствия величин начальных концентраций –  $K_0$ . Графики же функций  $K(\tau)$  ими строились начиная с данных, соответствующих первым суткам культивирования. В связи с этим за начальные значения  $K_0$  были взяты данные из предварительно подобранных уравнений, описывающих динамику изменения концентраций кислот в настое рисового гриба во времени. В результате были приняты следующие начальные значения концентраций: уксусная –  $Ku_0 = 0.05$ , молочная –  $Km_0 = 0.06$ , янтарная –  $K_{Y0} = 0.073$ , шикимовая –  $Kh_0 = 3.3 \cdot 10^{-5}$  г/л. Начальная масса засеваемой культуры рисового гриба была известна:  $G_0 = 100$  г [1].

Нельзя сказать, что принятый метод обработки опытных данных достаточно точен. Но даже если в определении начальных величин и допущены погрешности, то это скажется только на численных значениях эмпирических коэффициентов, входящих в уравнения математической модели (ММ). Но здесь возникает вопрос: а что делать, если  $K_0 = 0$  (что маловероятно)? Выходы могут быть разные, например, можно относить текущие значения параметров к их максимальным величинам –  $K_m$ .

Общими для рассматриваемых грибов являются следующие характеристики: во-первых, их культивируют в открытых сосудах (следовательно, поверхности культуральных жидкостей контактируют с воздухом; для чайного гриба – только на начальной стадии развития); во-вторых, существует схожесть состава питательных сред – водные растворы сахарозы; в-третьих, получены близкие по значениям концентрации водородных ионов в настоях; в-четвёртых, скорость нарастания кислотности определяется скоростью потребления сахара [1]; в-пятых, оба гриба в равной степени обладают способностью подавлять развитие в культуральных средах иных микроорганизмов, поддерживая тем самым стерильные условия существования.

Немного отличаются настои грибов и по кислотному составу [1; 5; 6]. В составе настоя гриба *Medusomyces Gisevi*, по разным литературным источникам [1; 4; 10; 14; 15], отмечается наличие кислот различной активности. Их константы диссоциации  $K_d$ : уксусная –  $1,75 \cdot 10^{-5}$ , молочная –  $1,38 \cdot 10^{-4}$ , яблочная –  $3,5 \cdot 10^{-4}$ , лимонная –  $8,4 \cdot 10^{-4}$ , глюконовая –  $1,38 \cdot 10^{-2}$ , щавелевая –  $3,8 \cdot 10^{-2}$ , пировиноградная – 0,56. Наибольшую долю в кислотном составе чайного гриба, по данным работ [6; 10; 15;], составляет уксусная кислота (примерно 70%). Химический состав исходного чайного настоя близок к настою гриба. Единственное существенное различие заключается в отсутствии в настое чая уксусной кислоты, из чего следует вывод, что она является продуцентом только микроорганизмов чайного гриба.

В отличие от предыдущих исследований, авторы работ [5; 6] изучили настои рисового гриба, выполнили хроматографический анализ их кислотного состава через некоторые промежутки времени, установили численные значения концентраций обнаруженных органических кислот. Всего ими было идентифицировано восемь кислот: молочная, уксусная, винная, янтарная, щавелевая, лимонная, шикимовая и фумаровая (малеиновая). Опыты показали, что по химическому составу настои рисового гриба близки к чайному. Однако в нём обнаружены кислоты, которые в настое чайного гриба отсутствуют: янтарная –  $K_{dY} = 7.4 \cdot 10^{-5}$ , винная –  $K_{dV} = 1.3 \cdot 10^{-3}$ , шикимовая –  $K_{dh} = 3 \cdot 10^{-3}$  [1; 5; 6]. Значения  $K_d$  взяты из

источников литературы (Краткая химическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1961–1967).

Сравнительный анализ развития грибов-зооглеев показывает не только сходство, но и существенные различия.

Первое отличие заключается в использовании растительных добавок в питательных средах. Для гриба *Medusomyces gisevi* добавкой является чайный лист, для рисового гриба ассортимент добавок значительно шире – изюм, инжир, другие ягодные и плодовые культуры [1; 5; 6].

Второе отличие заключается в способах культивирования. Чайный гриб относится к аэробам [1; 4; 14], рисовый – к анаэробам [1; 5], что сказывается на механизме потребления грибами кислорода. В процессе культивирования чайного гриба, через 4–5 суток после внесения в питательную среду засевной культуры, на поверхности настоя начинает образовываться сплошная пленка, толщина которой во времени постоянно увеличивается, формируя тело гриба. До образования сплошной плёнки, в начальной стадии развития, микроорганизмы чайного гриба будут потреблять кислород, находящийся в настое в растворённом состоянии [10; 15]. После полного закрытия поверхности настоя сплошной плёнкой потребление кислорода чайным грибом происходит из воздуха его телом (аэробный процесс).

Исследования кинетики потребления кислорода чайным грибом в процессе культивирования проводились с одновременным измерением титруемой кислотности и  $pH$  настоя. Эти исследования показали идентичность кинетики изменения  $pH$  и концентрации кислорода в настоях чайного гриба, что позволило сформулировать гипотезу двустадийного развития гриба. Предположения о двухстадийном развитии чайного гриба представлены в работе (Использование микрофлоры чайного гриба при производстве молочных продуктов лечебно-профилактического назначения / Арсеньева Т.П. и др. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1998. – 16 с.) без каких-либо объяснений причин течения такого процесса.

На поверхности настоя рисового гриба за всё время культивирования плёнка не образуется. Колонии микроорганизмов рисового гриба в основном находятся в придонном слое культуральной жидкости, и потому его развитие считается анаэробным [1]. Однако утверждать, что рисовый гриб развивается в сугубо анаэробных условиях – это не совсем точно. Вполне возможно потребление кислорода двумя способами: во-первых, растворённого в исходном настое культивирования; во-вторых, из воздуха через свободную поверхность культуральной среды за счёт молекулярной диффузии во время всего процесса культивирования. Но так как скорость диффузии кислорода из воздуха в жидкость значительно ниже скорости его потребления микроорганизмами, то большая его часть из настоя должна потребляться рисовым грибом, так же как и чайным, на начальной стадии развития. Диффузионный перенос, если и будет сказываться на развитии клеток, то только в самых верхних слоях настоев. К сожалению, никаких данных об исследованиях потребления рисовым грибом кислорода в литературе нами не обнаружено. Однако опыты авторов работ [1; 13; 14] по изменению в процессе культивирования  $pH$  среды дают основание утверждать, что процесс потребления грибами-зооглеями кислорода подчинен одной закономерности.

Авторы работы [1], кроме кислотного состава, провели интересные исследования по приросту биомассы микроорганизмов рисового гриба  $G$  при различных начальных концентрациях сахаров  $S_0$ , изменявшихся от 0.01 до 0.08 массовых долей. Для всех опытов

оказалось характерным наличие максимумов функции  $\bar{G}(\tau) - \bar{G}_m$ . Причём  $\bar{G}_m$  зависит от  $S_0$ , но время достижения максимумов постоянно –  $\tau_m \approx 30$  сут. С чайным грибом такие исследования почти не проводились.

Возможно, единственным исключением является работа [15], в которой прирост биомассы чайного гриба определялся по изменению толщины  $h$  мицелиальной плёнки. Метод недостаточно точный, чтобы на его основании искать какие-то уравнения ММ кинетики процесса, но характер изменения функции  $h(\tau)$  чайного гриба аналогичен изменению функции  $\bar{G}(\tau)$  рисового гриба в пределах изменения времени от 0 до 20 суток. Сравнение данных работ [1; 15] даёт основание предположить, что функции  $h(\tau)$  и  $\bar{G}(\tau)$  в указанных пределах изменения времени могут быть описаны уравнением (1).

$$\bar{K}(\tau) = 1 + (\gamma \cdot \tau)^N - (\mu_1 \tau)^n, \quad (1)$$

где  $\gamma = ((1/K_0)^{1/N} \cdot H)$ ,  $\mu_1 = ((1/K_0)^{1/n} \cdot \mu)$ .

Поэтому вполне вероятно достижение максимума массы тела чайного гриба в те же сроки, что и биомассы рисового. Этим в очередной раз подтверждена аналогичность кинетических закономерностей развития исследуемых грибов-зооглеев. Однако все предположения требуют дополнительной экспериментальной проверки.

С учётом отмеченных сложностей результаты перечисленных выше исследований представлены в размерном и безразмерном виде на рис. 1А, 1Б и 2Б. Согласно рис. 1А и 1Б, продолжительность начальной стадии может быть принята равной 4–5 суткам. В указанное время  $pH$  настоев обоих грибов резко падает от  $pH_0 = 6-7$  до  $pH_{\min} = 3-2,8$ , оставаясь далее постоянными. Аналогичным образом меняется в настоях и концентрация кислорода  $O$ : от максимальных –  $O_0 = 8 - 7,5$  до минимальных –  $O_{\min} = 0.02 - 0.05$  мг/л., что будет сказываться на кинетике образования кислот.

Подтверждением вышесказанному служат графики, представленные на рис. 1, на которых показано образование на начальной стадии в настое рисового гриба кислот с высокой степенью диссоциации.

Привлекает внимание наличие максимумов функций  $\bar{K}(\tau)$  кислот высокой активности, которых они достигают к 3–4 суткам  $\bar{K}(\tau)$ . К этому времени  $pH$  настоев и концентрация в них кислорода приближаются к минимуму, а скорости их снижения стремятся к нулю (рис. 1Б). С указанного периода времени как раз и начинается снижение в настое рисового гриба концентраций кислот высокой активности (рис. 2Б). Так как динамика изменения  $pH$  настоев обоих грибов одинакова, то и в настое чайного гриба на начальной стадии культивирования должны образовываться, прежде всего, кислоты высокой активности.

Процессам, протекающим в начальной стадии развития, уделён особый интерес, потому что, во-первых, в этот период начинается формирование общего химического состава настоя грибов. Во-вторых, требуется знание времени образования тех или иных кислот. Последнее особенно важно при использовании настоев грибов для извлечения из них тех или иных метаболитов. В этом случае необходимо следить за изменением химического состава настоя в процессе культивирования и временем отбора из биореактора промежуточного сырья с целью его дальнейшей переработки.

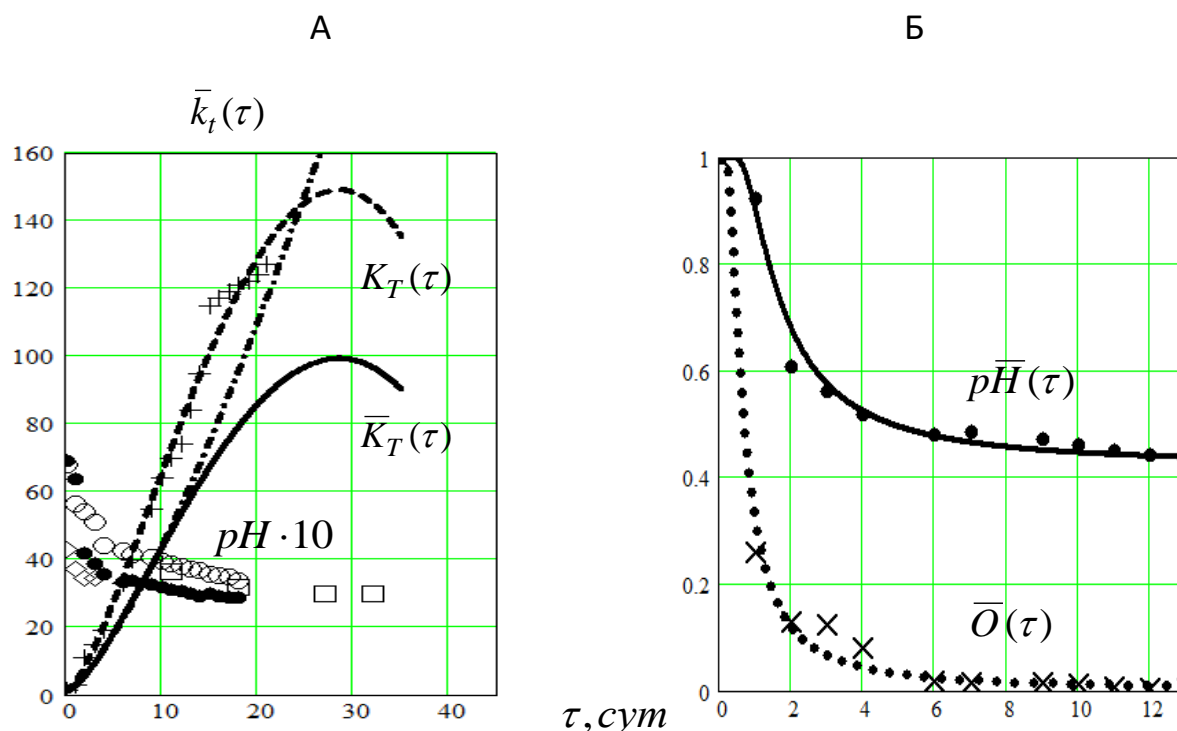


Рисунок 1. Изменение кислотностей и концентрации кислорода в настоях грибов  
1А: + чайный гриб  $S_0 = 0.13$  +  $pH$ ,  $S_0 = 0.1$ ,  $pH$  o |  $S_0 = 0.04$  в массовых долях;  $pH$  – чайный гриб □; рисовый гриб ◇ [1].  
1Б: –  $S_0 = 0.1$  чайный гриб  $p\bar{H}$  •,  $\bar{O}$  ×;  $pH_0 = 6.9$ ,  $O_0 = 8.05$  мг/л.

По оси ординат показаны градусы кислотности  $\bar{k}_t(\tau)$

Figure 1. Changes in acidity and oxygen concentration in mushroom infusions  
1А: + kombucha +, o [ in mass fractions; – kombucha; rice mushroom [1].  
1Б: – kombucha •, ×; , mg/l.

Degrees of acidity are shown on the ordinate axis

Мы не будем здесь детально останавливаться на вопросах, связанных с кинетическими закономерностями развития грибов на начальной стадии. Эти вопросы подробно рассмотрены в работе [16], где установлено на примере гриба *Medusomyces gisevi* наличие на начальной стадии трёх периодов развития чайного гриба, позволивших теоретически обосновать особенности формирования кислотного состава его настоя. К этой проблеме мы еще вернёмся в дальнейшем при поисках математических моделей кинетики развития грибов-зооглеев.

Таким образом, краткий анализ работ, связанных с исследованиями чайного и рисового грибов *Medusomyces gisevi* и *Oryzomyces indicia* РГЦ, показал, что по морфологическим свойствам они различны. Однако в физиологии их развития есть много общего. Но если о химическом составе и свойствах настоев грибов-зооглеев уже накоплен достаточно обширный объём экспериментального материала, то исследований по кинетике протекания биологических процессов и работ с их математическим описанием явно недостаточно.

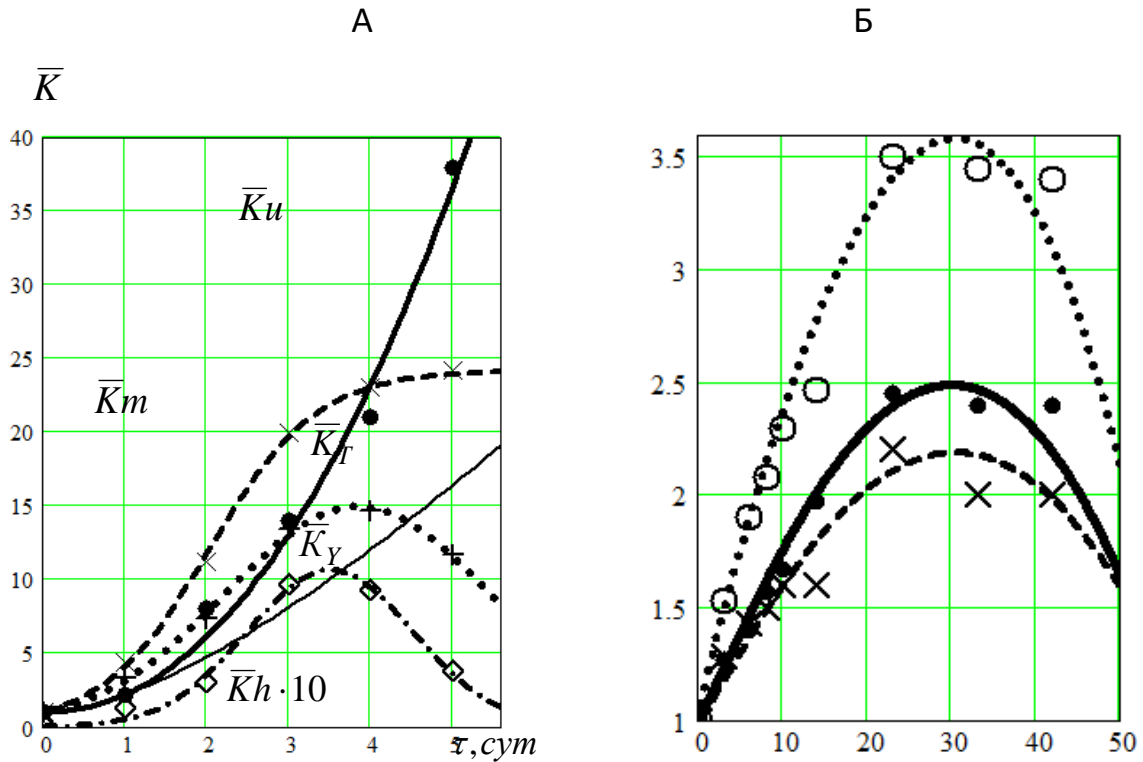


Рисунок 2. Динамика изменения в настоях содержания кислот  
2А: общая кислотность чайного гриба  $\bar{K}_T(\tau)$   $G: S_0 = 0.04$   
●●  $S_0 = 0.05$  — ;  $S_0 = 0.06$  [1].

По оси ординат показаны градусы кислотности  $\bar{K}$   
2Б: рисовый гриб – уксусная кислота  $\bar{K}_u(\tau)$  — ; молочная –  $\bar{K}_m(\tau)$  — — ;  
янтарная –  $\bar{K}_y(\tau)$  ●●● ; шикимовая –  $\bar{K}_h(\tau) \cdot 10$  — ● — [5]

Figure 2. Dynamics change in acid content in infusions

2А: total acidity of kombucha : ●● — ; [1].

2В: rice mushroom – acetic acid — ; lactic acid – — — ;  
amber – ●●● ; shikim – — ● — [5]

Degrees of acidity are shown on the ordinate axis

**Результаты исследований.** В дальнейшем при поиске уравнений математической модели будут учтены имеющиеся экспериментальные исследования по изменению в процессе культивирования  $pH$  сред, в которых развиваются грибы, и растворённого в них кислорода, и прежде всего, на начальной стадии развития процесса [1; 5; 6; 7; 11; 15; 16]. Большая часть экспериментальных данных в графическом виде представлена на рис. 1 и 2. Кроме того, при подборе математических моделей необходимо опираться на теоретические исследования кинетических закономерностей развития биологических процессов (Бейли Н. Математика в биологии и медицине. – М: «МИР», 1970. – 326 с.).

И всё же несмотря на то, что выполненный сравнительный анализ развития двух грибов-зооглеев и полученные на его основе математические зависимости не дают возможности полностью раскрыть кинетические закономерности развития грибов, они

необходимы для дальнейшего поиска более полной ММ. Кроме того, решение полной задачи требует проведения экспериментальных исследований по изменению во времени химического состава настоев на всём протяжении процесса культивирования. Решения этой задачи не избежать, если настои будут использоваться для извлечения из них тех или иных метаболитов, для чего необходимо знать время отбора культуральной жидкости из биореактора для её дальнейшей переработки.

### Выводы

1. Несмотря на некоторые существенные различия в развитии грибов-зооглеев – *Medusomyces gisevi* и *Oryzomyces indicia* РГЦ, показана возможность описания кинетических закономерностей их развития едиными уравнениями, позволяющими прогнозировать течение микробиологических процессов в широком временном диапазоне.

2. Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что культивирование грибов-зооглеев следует прекратить через 10–12 суток из-за ухудшения вкусовых качеств напитков, приготовленных из их настоев.

3. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных динамики изменения *pH* настоев грибов-зооглеев позволил сделать общее заключение, что образование кислот высокой активности в настоях происходит на начальной стадии культивирования в течение трёх периодов, при обязательном наличии растворённого в исходной культуральной среде кислорода.

4. Математическая обработка экспериментальных результатов исследований кинетики развития грибов-зооглеев позволила, во-первых, более глубоко проникнуть в суть протекающих в культуральной среде физико-биологических процессов; во-вторых, объяснить физический и биологический смысл некоторых эмпирических коэффициентов, входящих в уравнения частных ММ; в-третьих, определить задачи дальнейших экспериментальных исследований и наметить пути их совершенствования.

### Список источников литературы

1. Природные микробные ассоциации / М.Н. Верёвкина, Е.В. Светлакова, С.Н. Поветкин, С.В. Пруцаков // Ветеринария Кубани. – 2010. – № 4. – С. 15 – 17.
2. Гранкова, Л.И. Оценка качества пресервов, изготовленных с применением настоя морского рисового гриба рода зооглея / Л.И. Гранкова // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: материалы Международной научно-практической конференции (22–23 марта 2018 года, г. Рязань). – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 96–100.
3. Василенко, З.В. Сравнительный анализ использования различных видов дрожжей в спиртовом производстве / З.В. Василенко, Е.А. Цед, С.В. Волкова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2016. – № 3. – С. 113–118.
4. Фёдорова, Р.А. Исследование влияния окары на качество хлеба / Р.А. Фёдорова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С. 46–51.
5. Куприец, А.А. Исследование жизнедеятельности культура рисового гриба в разных средах культивирования для её применения в молочной промышленности / А.А. Куприец, Т.И. Шингарева // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т.47. – № 4. – С. 70–76.
6. Коняева, В.М. Использование сои для приготовления питательной закваски с технологии пшеничного хлеба / В.М. Коняева, Н.В. Яковченко, Р.А. Федорова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10. – № 1 (53). – С. 156–160.
7. Патент на полезную модель № 2526651 Российская Федерация. Способ производства пшеничного хлеба. Опубл. 02.07.2014 / Р.А. Федорова, В.М. Пономаренко, О.В. Головинская.

8. Гладышева, Е.К. Биосинтез бактериальной целлюлозы на ферментативном гидролизате лигноцеллюлозного материала мискунтуса / Е.К. Гладышева // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 10-2. – С. 194–198.
9. Рогожин, В.В. *Medusomyces gisevi*: строение, функционирование и использование / В.В. Рогожин, Ю.В. Рогожин // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2017. – Т. 7. – № 4. – С. 24–34.
10. Исмаилова, Ю.Н. Формирование кислотного состава культуральной жидкости чайного гриба *Medusomyces gisevi* / Ю.Н. Исмаилова, В.Б. Тишин // *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО*. – 2016. – Т. 5. – С. 242–245.
11. Тишин, В.Б. О математических моделях кинетики культивирования микроорганизмов / В.Б. Тишин, Ю.Н. Исмаилова // *Биофизика* – 2018. – Т. 63. – № 2. – С. 282–286.
12. *Процессы и аппараты биотехнологии. Ферментационные аппараты: учеб. пособие* / А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев, А.А. Кухаренко, В.И. Панфилов. – М.: Юрайт, 2019. – 278 с.
13. Tishin, V.B. Search for a Mathematical Model of the Kinetics of *Saccharomyces Cerevisiae* Yeast Cultivation with Oxygen Deficiency / V.B. Tishin, I.A. Shomrina // *Global Journal of Science Frontier Research: F Mathematics and Decision Sciences*. – Vol. 19, issue 5. – Version 1.0 Year 2019.
14. Wood waste from fruit trees: biomolecules and their applications in agri-food industry / M.J. Aliaño-González, E. Cantos-Villar, J. Gabaston, V. Ortiz-Somovilla // *Biomolecules*. – 2022. – Vol. 12. – № 2.
15. Исмаилова, Ю.Н. Влияние кислорода на кинетику культивирования чайного гриба *Medusomyces gisevi* / Ю.Н. Исмаилова // *Вестник КрасГАУ*. – 2016. – № 10. – С. 156–162.
16. Tishin, V.B. Features of the Fungus *Medusomyces gisevi* at the Initial Stage of Cultivation and its Mathematical Description / V.B. Tishin, R.A. Fëdorova // *EC Nutrition*. – 2022. – Vol. 17, issue 7. – P. 1–11.

### References

1. Verevkina, M.N., Svetlakova E.V., Povetkin S.N., Prutsakov, Microbial S.V. (2010), Natural microbial association, *Kubani Veterinary*, no. 4, pp. 15–17. (In Russ.)
2. Grankova, L.I. (2018), Evaluation of the quality of preserves made with the use of infusion of marine rice mushroom of the genus *zooglea*, *Ekologicheskoe sostoyanie prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskie aspekty sovremennykh agrotekhnologiy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii (22–23 marta 2018 goda, g. Ryazan')* [Ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of modern agricultural technologies. Materials of the International Scientific and Practical Conference (March 22–23, 2018, Ryazan)], Ryazan, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pp. 96–100. (In Russ.)
3. Vasilenko, Z.V., Tsed, E.A., Volkova, S.V. (2016), Comparative analysis of the use of various types of yeast in alcohol production, *Vesci National Academy of Sciences of Belarus. Gray agricultural navuk*, no. 3, pp. 113–118. (In Russ.)
4. Fedorova, R.A. (2016), Investigation of the influence of okara on the quality of bread, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 42, pp. 46–51. (In Russ.)
5. Kupriets, A.A., Shingareva, T.I. (2017), Study of the vital activity of rice mushroom culture in different cultivation environments for its use in the dairy industry, *Equipment and technology of food production*, vol. 47, no. 4, pp. 70–76. (In Russ.)
6. Konyaeva, V.M., Yakovchenko, N.V., Fedorova, R.A. (2021), The use of soy for the preparation of a nutritious starter culture using wheat bread technology, *XXI century: results of the past and problems of the present plus*, vol. 10, no. 1 (53), pp. 156–160. (In Russ.)
7. Fedorova, R.A., Ponomarenko, V.M., Golovinskaya, O.V. (2014), *Patent na poleznuyu model' № 2526651 Rossijskaya Federaciya. Sposob proizvodstva pshenichnogo hleba. Opubl. 02.07.2014* [Fedorova, R.A., Ponomarenko, V.M., Golovinskaya, O.V. (2014), Patent № 2526651 Russian Federation, Method of production of wheat bread, Publ. 02.07.2014]. (In Russ.)
8. Gladysheva, E.K. (2017), Biosynthesis of bacterial cellulose on enzymatic hydrolysate of lignocellulose material of *miscuntus*, *Fundamental research*, no.10-2, pp. 194–198. (In Russ.)
9. Rogozhin, V., Rogozhin, Yu. V. (2017), *Medusomyces gisevi*: structure, functioning and use, *Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology*, vol. 7, no. 4, pp. 24–34. (In Russ.)
10. Ismailova, Yu. N., Tishin, V. B. (2016), Formation of the acid composition of the culture liquid of the tea mushroom *Medusomyces gisevi*, *Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University*, vol. 5, pp. 242–245. (In Russ.)



11. Tishin, V.B., Ismailova, Yu. N. (2018), I mathematically modelled the kinetics of the cultured microorganism, *Biophysics*, vol. 63, no. 2, pp. 282–286. (In Russ.)
12. Vinarov, A. Yu., Gordeev, L. S., Kukhareno, A. A., Panfilov, V. I. (2019), *Processy i apparaty biotekhnologii. Fermentacionnye apparaty: ucheb. posobie* [Processes and devices of biotechnology. Fermentation machines. Study guide], M., Yurayt, 278 p. (In Russ.)
13. Tishin, V. B., Shomrina, I. A. (2019), Search for a mathematical model of the kinetics of cultivation of yeast *Saccharomyces Cerevisiae* with oxygen deficiency, *Global Journal of Science Frontier Research: F Mathematics and Decision Sciences*, vol. 19, issue 5, version 1.0, Release Year 2019.
14. Aliagno-Gonzalez, M.J., Cantos-Villar, E., Gabaston, J., Ortiz-Somovilla, V. (2022), Wood waste of fruit trees: biomolecules and their application in the agro-food industry, *Biomolecules*, vol. 12, no. 2.
15. Ismailova, Yu. N. (2016), The influence of oxygen on the kinetics of cultivation of the tea mushroom *Medusomyces gisevi*, *Bulletin of KrasGAU*, no. 10, pp. 156–162. (In Russ.)
16. Tishin, V.B., Fedorova, R.A. (2022), Features of the fungus *Medusomyces gisevi* at the initial stage of cultivation and its mathematical description, *Ecological nutrition*, vol. 17, issue 7, pp. 1–11.

#### Сведения об авторах

**Тишин Вячеслав Борисович** – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 9449-6359.

**Фёдорова Рита Александровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2684-4474.

#### Information about the authors

**Vyacheslav B. Tishin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 9449-6359, AuthorID: 451732.

**Rita A. Fedorova** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Agricultural Products, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 2684-4474.

**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 13.02.2023; одобрена после рецензирования 20.03.2023; принята к публикации 27.03.2023.*

*The article was submitted 13.02.2023; approved after reviewing 20.03.2023; accepted after publication 27.03.2023.*

Научная статья  
УДК 634.1.03  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-41-50

## ОЦЕНКА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ФОРМ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ ПО ОСНОВНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Геннадий Парфенович Атрощенко<sup>1</sup>, Наталья Николаевна Горбачева<sup>2</sup>,  
Наджибулла Асир<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; atoschenko-G.P@mail.ru;  
[https://orcid: 0000-0002-8501-6313](https://orcid.org/0000-0002-8501-6313)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; plodovod.2012@mail.ru;  
[https://orcid: 0000-0002-3851-1661](https://orcid.org/0000-0002-3851-1661)

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; najeebullah277@yahoo.com;  
[https://orcid: 0000-0001-5516-7068](https://orcid.org/0000-0001-5516-7068)

**Реферат.** В настоящее время садоводство России базируется на интенсивных технологиях возделывания садовых насаждений с использованием слаборослых клоновых подвоев. При интродукции новых форм клоновых подвоев большое значение придается оценке их основных хозяйственно-биологических признаков. Цель исследований данной статьи – оценка слаборослых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ по хозяйственно-биологическим признакам и отбор лучших форм для селекции и в садоводстве Ленинградской области. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в учебно-опытном саду Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Объектами изучения являлись 9 форм клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ: 54-118, Малыш Будаговского, 57-490, 62-223, 62-396, 64-143, 67-5(32), 70-6-8, 71-3-150. Контроль – подвой 54-118. Закладка отводкового маточника вертикального типа изучаемых форм клоновых подвоев яблони была произведена в полевых условиях весной 2020 г. Схема посадки маточника – 2,5 x 0,5 м. При исследованиях использовали методику «Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда, 2019» (под редакцией З.А. Козловской). На основании наблюдений за феноритмикой установлено, что изучаемые формы клоновых подвоев яблони соответствуют сезонным ритмам развития растений и укладываются в вегетационный период Ленинградской области. Наибольшая степень зимостойкости отмечена у клоновых подвоев 54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8. Эти формы могут быть использованы в селекции и практике в качестве источника устойчивости к абиотическим факторам. Клоновые подвои яблони 54-118, 57-490, 62-396, 64-143 формируют наиболее высокие отводки, что предполагает их использование в качестве источника признака на сильнорослость в маточниках. По наибольшему выходу отводков в маточнике (признак продуктивности) выделились формы 54-118, 57-490, 64-143, 70-6-8. Наиболее качественные отводки (выход 1-го сорта > 50%) сформировали маточные растения подвоев 64-143, 54-118, 57-490, 70-6-8, 62-396.

**Ключевые слова:** клоновые подвои яблони, зимостойкость, биометрические показатели, выход отводков

**Цитирование.** Атрощенко Г.П., Горбачева Н.Н., Асир Н. Оценка интродуцированных форм клоновых подвоев яблони по основным хозяйственно-биологическим признакам // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 70 (1). – С. 41–50. doi: 10/24412/2078-1318-2023-1-41-50

## EVALUATION OF INTRODUCED FORMS OF APPLE CLONE ROOTSTOCKS ACCORDING TO THE MAIN ECONOMIC AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS

**Gennady P. Atroshchenko<sup>1</sup>, Natalia N. Gorbacheva<sup>2</sup>, Najeebullah Asir<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Saint- Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint. Petersburg, 196601, Russia; atoschenko-G.P@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8501-6313>

<sup>2</sup>Saint- Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint. Petersburg, 196601, Russia; plodovod.2012@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3851-1661>

<sup>3</sup>Saint- Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint. Petersburg, 196601, Russia; najeebullah277@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5516-7068>

**Abstract.** At present, modern horticulture in Russia is based on intensive technologies of cultivation of orchard plantations with the use of low-growing clonal rootstocks. When introducing new forms of clonal rootstocks, great importance is attached to the assessment of their main economic and biological characteristics. The aim of the research was to evaluate low-growing clonal rootstocks of apple trees selected by the Michurinsky State Agrarian University on economic and biological grounds and to select the best forms for breeding and practice in horticulture in the Leningrad Region. The studies were carried out in 2020-2022 in the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University. The objects of study were 9 forms of clonal rootstocks of apple trees bred at Michurinsky State Agrarian University: 54-118, Malysh Budagovsky, 57-490, 62-223, 62-396, 64-143, 67-5(32), 70-6-8, 71- 3-150. Control - stock 54-118. The setting up of a vertical type parent plant of the studied forms of clonal apple rootstocks was carried out in the field in the spring of 2020. The planting pattern of the parent plant is 2.5 x 0.5 m. The methodology "Genetic basis and methodology of breeding of fruit crops and grapes, 2019" (edited by Z.A. Kozlovskaya) was used in the research. Based on the observations of phenorhythmics, it was found that the studied forms of apple tree clone rootstock correspond to the seasonal rhythms of plant development and fit into the growing season of the Leningrad region. The highest degree of winter hardiness was noted in clonal rootstocks 54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8. These forms can be used in selection breeding and practice as a source of resistance to abiotic factors. Apple clonal rootstocks 54-118, 57-490, 62-396, 64-143 form the highest layering, which suggests their use as a source of a trait for vigorous growth in parent plant. Apple clonal rootstocks 54-118, 57-490, 62-396, 64-143 form the highest layering, which suggests using them as a source of a trait for vigorous growth in parent plant. Forms 54-118, 57-490, 64-143, 70-6-8 were distinguished by the highest yield of layering in the mother liquor (a sign of productivity). The highest quality cuttings (yield of the 1st grade > 50%) were formed by mother plants of rootstocks 64-143, 54-118, 57-490, 70-6-8, 62-396.

**Keywords:** *clonal apple rootstocks, winter hardiness, biometric indicators, layering yield*

**Citation.** Atroshchenko, G.P., Gorbacheva, N.N., Asir, N. (2023), Evaluation of introduced forms of apple clone rootstocks according to the main economic and biological characteristics, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 41–50. (In Russ.)  
doi: 10/24412/2078-1318-2023-1-41-50

**Введение.** Современное садоводство базируется на интенсивных технологиях возделывания садовых насаждений с использованием слаборослых клоновых подвоев. При этом достигается высокая эффективность производства в сельскохозяйственных организациях [1; 2; 3].

Выбор клонового подвоя имеет большое значение для создания интенсивных насаждений. Слаборослые клоновые подвои яблони играют большую роль в регулировании роста привитых деревьев, их скороплодности, продуктивности, долговечности [4; 5]. Также клоновые подвои яблони повышают устойчивость привойно-подвойных комбинаций к абиотическим и биотическим факторам [6; 7].

В последнее время сортимент клоновых подвоев яблони в России значительно увеличился благодаря плодотворной работе селекционеров в ряде научных учреждений по садоводству. Но наиболее широкое распространение в интенсивном садоводстве получили слаборослые клоновые подвои яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета. В результате многолетней успешной селекционной работы профессора В.И. Будаговского и последователей его научной школы в этом учреждении получены клоновые подвои яблони, корневые системы которых способны выдерживать понижения температуры до  $-16^{\circ}\dots-18^{\circ}\text{C}$ . Благодаря высокой зимостойкости и морозоустойчивости эти клоновые подвои имеют существенную перспективу для создания промышленных слаборослых интенсивных насаждений яблони в России [8; 9].

На Ленинградской плодовоощной опытной станции ранее в селекционной работе испытывалось несколько форм клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ – это Парадизка Будаговского и 13-14. С участием в скрещивании Парадизки Будаговского был получен подвой С-79-1 (автор Сердюков А.Н.). Это полукарликовый подвой, обладающий высокой зимостойкостью корневой системы и надземной части. Он хорошо совместим с сортами яблони. Деревья в саду не требуют опор. Подвой внесен в Госреестр селекционных достижений РФ [10]. В этом учреждении изучены также клоновые подвои яблони селекции Мичуринского ГАУ 54-118 и 62-396. В настоящее время эти подвои получили распространение в индивидуальном садоводстве. В учебно-опытном саду Санкт-Петербургского государственного аграрного университета имеется маточник вертикальных отводков клоновых подвоев 54-118, 57-490 и 62-396 для изучения их хозяйственно-биологических особенностей.

При интродукции новых форм слаборослых клоновых подвоев важной задачей является оценка их основных хозяйственно-биологических признаков в данных почвенно-климатических условиях.

**Цель исследований** – оценка слаборослых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета по хозяйственно-биологическим признакам и отбор лучших форм для селекции и практического использования в садоводстве Ленинградской области.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Исследования по оценке слаборослых клоновых подвоев яблони проводили в учебно-опытном саду Санкт-Петербургского

государственного аграрного университета (СПбГАУ) в 2020–2022 гг. Почвы участка возделывания клоновых подвоев яблони – дерново-подзолистые, средне- и тяжелосуглинистые, с неустойчивым водно-воздушным режимом, который зависит от количества и характера выпадающих осадков. Содержание гумуса в пахотном слое (0–20 см) – 3%. Реакция почвенного раствора варьирует от слабокислой до нейтральной.

Закладка отводкового маточника вертикального типа клоновых подвоев яблони была произведена в полевых условиях в мае 2020 г. Схема посадки маточника – 2,5 x 0,5 м. При отрастании побегов до образования на них придаточных корней проводили окучивание органическим субстратом, в качестве которого использовали перепревший конский навоз с опилками. Первое окучивание органическим субстратом проводили, когда отрастающие молодые побеги достигли высоты около 15 см, второе окучивание – при высоте побегов 25–30 см. Осенью, в третьей декаде октября, кусты разокучивали и укорененные отводки отделяли секатором. Часть укорененных отводков оставляли на маточных кустах для оценки их зимостойкости в весенний период после перезимовки. На зиму кусты окучивали почвой слоем 10 см для защиты от морозов.

Объектами исследования являлись 9 форм слаборослых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета. По силе роста подвои делились на три группы: карликовые – 62-396, Малыш Будаговского; полукарликовые – 54-118, 62-223, 64-143, 67-5(32), 70-6-8, 71-3-150; среднерослые – 57-490. Клоновые подвои Малыш Будаговского, 62-223, 64-143, 67-5(32), 70-6-8, 71-3-150 впервые интродуцированы в Ленинградскую область для изучения их хозяйственно-биологических признаков. В качестве контроля использовали клоновый подвой 54-118.

Степень зимостойкости маточных кустов клоновых подвоев определяли по методике З.Н. Таровой и др. [11]. Оценка степени повреждения тканей побегов (камбия и сердцевины) проводили в весенний период до распускания почек с неотделенных отводков, оставленных с осени. Оценивали состояние побегов по 5-балльной шкале в соответствии с отмиранием тканей: 5 – повреждений нет; 1 – ткани погибли.

Основные наблюдения и учеты проводили согласно методике «Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда, 2019» [12].

**Результаты исследований.** В течение двух вегетационных периодов (2021–2022 гг.) проведены наблюдения за прохождением фенологических фаз клоновых подвоев яблони. По результатам наблюдений установлено, что в условиях Ленинградской области сроки наступления основных фенофаз клоновых подвоев яблони варьируют в следующих пределах:

- начало отрастания растений – вторая декада мая;
- начало корнеобразования – вторая половина июля;
- массовое корнеобразование – первая половина августа;
- конец верхушечного роста побегов – третья декада августа.

Вторичный рост побегов наблюдался на единичных растениях.

Таким образом, все изучаемые клоновые подвои яблони в маточнике вертикального типа соответствуют сезонным ритмам развития растений и укладываются в период вегетации Ленинградской области.

Одним из главных лимитирующих факторов использования слаборослых клоновых подвоев яблони в данных почвенно-климатических условиях является зимостойкость. Изучение зимостойкости клоновых подвоев яблони в маточнике вертикальных отводков дает возможность оценить способность растений реагировать на различные неблагоприятные

факторы зимнего периода и установить общую степень повреждения. Эти повреждения зависят от погодных условий вегетационных периодов, особенностей роста и развития клоновых подвоев, а также их генетического происхождения.

Оценку зимостойкости клоновых подвоев яблони проводили в первой половине мая 2021 г. и 2022 г. на неотделенных отводках. Наибольшее влияние на перезимовку растений клоновых подвоев оказал зимний период 2021 г. Осень 2020 г. характеризовалась обильными осадками. Из-за переувлажнения часть маточных кустов клоновых подвоев оказалась ослабленной, что в дальнейшем повлияло на их зимостойкость. Кроме того, некоторые растения пострадали от вымокания. Это привело к частичной гибели клоновых подвоев.

Эти факторы оказали негативное влияние на зимостойкость растений в зимний период 2021 г. (табл. 1). Степень зимостойкости из-за подмерзания и вымокания у изучаемых форм варьировала от 3,1 (67-5(32)) до 3,9 балла (54-118, 57-490, 64-143). После перезимовки наибольшая сохранность маточных растений отмечена у форм 54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8 (93,3%), наименьшая – у форм 67-5(32) и 62-223 (73,3%).

Условия зимнего периода 2021–2022 гг. были достаточно благоприятными для перезимовки растений клоновых подвоев яблони. Отводки на маточных кустах клоновых подвоев осенью 2021 г. полностью вызрели. Большой снеговой покров обеспечил успешную перезимовку растений. Незначительные повреждения тканей в верхней части побегов отмечены у клонового подвоя 67-5(32) и Малыш Будаговского.

Таким образом, наибольшую устойчивость к абиотическим факторам (подмерзание, вымокание) проявили формы клоновых подвоев 54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8.

Таблица 1. Зимостойкость клоновых подвоев яблони в маточнике в полевых условиях (2021–2022 гг.)

Table 1. Winter hardiness of apple clonal rootstocks in the mother liquor in the field (2021–2022)

Подвой	Степень зимостойкости, балл			Сохранность растений, %
	2021 г.	2022 г.	среднее	
54-118 (к)	3,9	5,0	4,5	93,3
Малыш Будаговского	3,6	4,7	4,2	80,0
57-490	3,9	5,0	4,5	93,3
62-223	3,6	5,0	4,3	73,3
62-396	3,7	5,0	4,4	93,3
64-143	3,9	5,0	4,5	93,3
67-5(32)	3,1	4,8	4,0	73,3
70-6-8	3,7	5,0	4,4	93,3
71-3-150	3,5	5,0	4,3	80,0
НСР <sub>05</sub>	0,17	–	–	–

После отделения отводков в 2021–2022 гг. проведена оценка роста и развития их надземной и подземной частей. При оценке биометрических показателей надземной части отводков использовали четыре параметра: высота растений, диаметр штамба, степень вызревания, ветвление.

Установлено, что наиболее высокие отводки (>70 см) в маточнике клоновых подвоев яблони получены у форм: 54-118, 57-490, 62-396, 64-143. Наименьшая высота (44,6 см) отмечена у клонового подвоя Малыш Будаговского (рис. 1).

Диаметр штамба у отводков на высоте 20 см в среднем варьировал от 5,6 мм (71-3-150) до 6,5 (54-118). Отводки у всех изучаемых форм клоновых подвоев полностью вызрели (степень вызревания 5 баллов) и характеризовались слабым ветвлением (1,0–1,3 балла).

При оценке биометрических показателей подземной части отводков учитывали степень укоренения, зону корнеобразования, количество корней диаметром более 2 мм, среднюю длину корней.

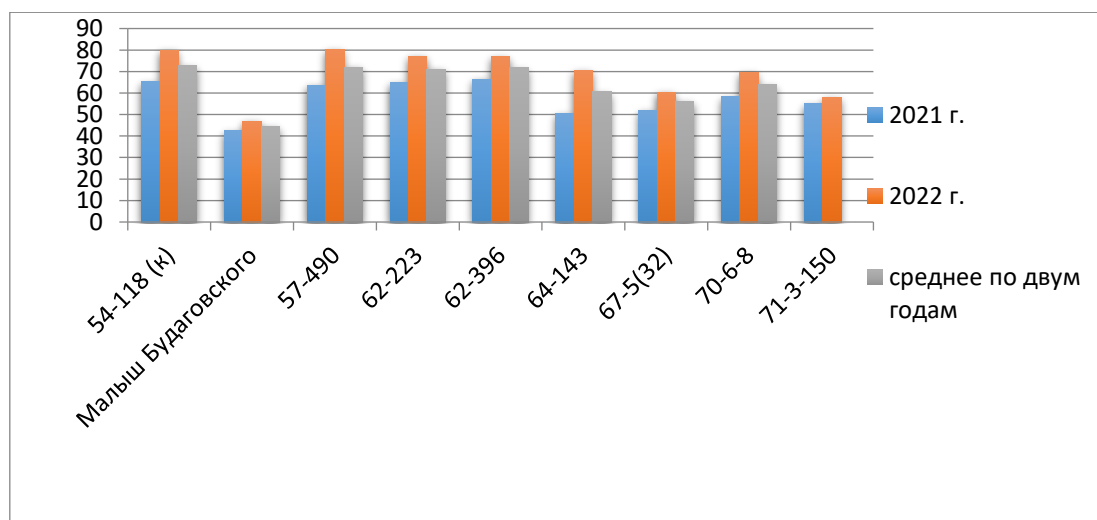


Рисунок 1. Высота отводков в маточнике, см (2021–2022 гг.)  
Figure 1. The height of the layering in the queen cell, cm (2021–2022)

Определено, что степень укоренения отводков по 5-балльной шкале варьировала в зависимости от формы изучаемых клоновых подвоев от 3,6 балла (67-5(32)) до 4,0–4,2 (54-118, 70-6-8, 62-396).

Качественным показателем развития корневой системы является зона корнеобразования отводков. При наибольшей высоте формируется более развитая корневая система. Установлено, что зона корнеобразования у отводков колебалась от 3,3–3,4 см (67-5(32), 71-3-150) до 5,1 см (54-118, 57-490).

Наибольшее количество корней диаметром более 2 мм сформировали отводки клоновых подвоев 62-396 (5,1 шт.) и 54-118 (4,6 шт.). Наименьшее количество корней (3,4–3,5 шт.) образовали отводки клоновых подвоев Малыш Будаговского и 71-3-150 (рис. 2).

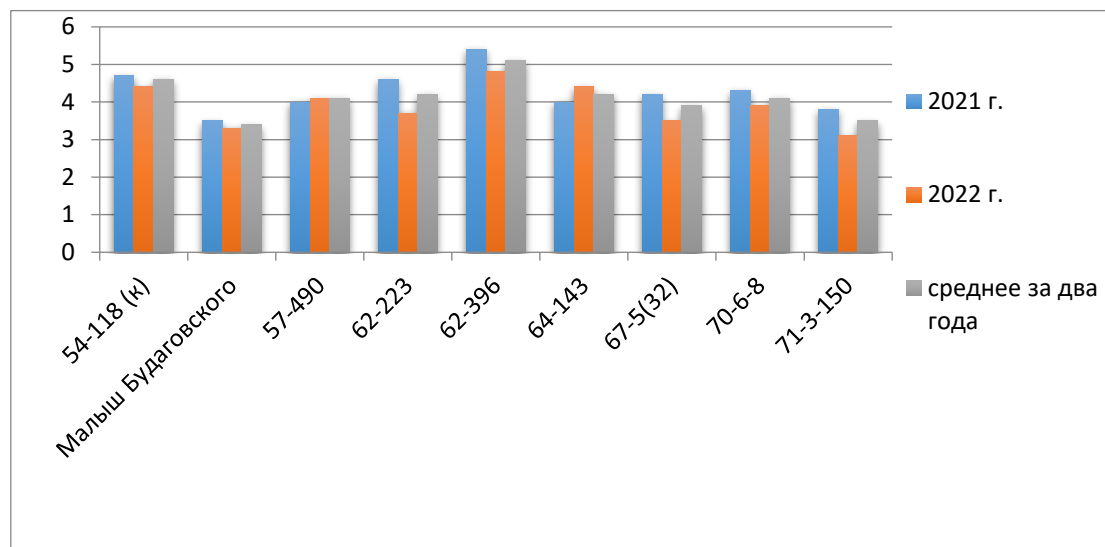


Рисунок 2. Количество корней диаметром более 2 мм, шт. (2021–2022 гг.)  
Figure 2. The number of roots with a diameter of more than 2 mm, pcs. (2021–2022)

Определено, что наибольшую среднюю длину корней (>10 см) имели отводки клоновых подвоев яблони 54-118, 62-223, 62-396, 57-490. Наименьшая длина корней (5,8–6,0 см) отмечена у отводков клоновых подвоев Малыш Будаговского и 71-3-150 (рис. 3).

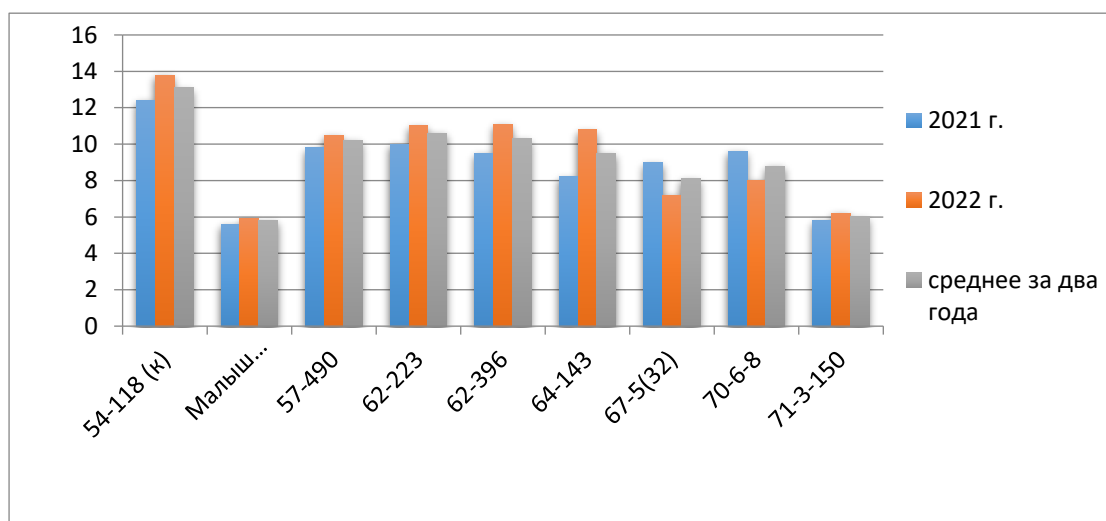


Рисунок 3. Средняя длина корней, см (2021–2022 гг.)  
Figure 3. The average length of the roots, cm (2021–2022)

Продуктивность маточника слаборослых клоновых подвоев яблони определяется количеством стандартных отводков с куста.

В 2021 г. в первый год эксплуатации маточника клоновые подвои сформировали небольшое количество отводков. Выход отводков в зависимости от типа подвоя варьировал от 1,5 (67-5(32)) до 2,3–2,5 (54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8) шт. с куста.

В 2022 г. во второй год эксплуатации маточника выход отводков клоновых подвоев увеличился. Данные по выходу отводков представлены в табл. 2.



Таблица 2. Выход отводков клоновых подвоев яблони (2022 г.)  
Table 2. Yield of layering of clonal rootstocks of apple trees (2022)

Подвой	Количество отводков, шт./куст	Выход отводков, %		
		1-й сорт	2-й сорт	нестандарт
54-118 (к)	3,7	62,1	28,8	9,1
Малыш Будаговского	2,8	37,6	38,0	24,4
57-490	3,8	58,4	26,1	15,5
62-223	3,0	44,6	36,0	19,4
62-396	3,5	54,9	30,5	14,6
64-143	3,8	63,2	25,3	11,5
67-5(32)	2,9	45,0	37,3	17,7
70-6-8	3,9	55,7	25,0	19,3
71-3-150	3,1	46,5	32,7	20,8
НСР <sub>05</sub>	0,16	–	–	–

Нами определено, что наибольшее количество отводков (3,7–3,9 шт.) сформировали маточные кусты клоновых подвоев 54-118, 57-490, 64-143, 70-6-8. Выход отводков 1-го сорта варьировал от 37,6% (Малыш Будаговского) до 63,2 % (64-143). Наибольший выход качественных отводков (>50%) получен с маточных кустов подвоев 64-143, 54-118, 57-490, 70-6-8, 62-396. Выход отводков 2-го сорта колебался от 25,0% (70-6-8, 64-143) до 38,0% (Малыш Будаговского). Наименьший выход нестандарта отмечен у клонового подвоя 54-118 – 9,1%.

**Выводы.** Результаты фенологических наблюдений показали, что все изучаемые формы клоновых подвоев яблони в маточнике вертикального типа соответствуют сезонным ритмам развития и укладываются в период вегетации Ленинградской области. Некоторые формы обладают хозяйственно-ценными признаками и могут быть рекомендованы для селекции и практического использования в садоводстве: высокоустойчивые к абиотическим факторам – 54-118, 57-490, 62-396, 64-143, 70-6-8; сильнорослые в маточниках открытого грунта – 54-118, 57-490, 62-396, 64-143; высокопродуктивные (по выходу отводков) – 54-118, 57-490, 64-143, 70-6-8; формирующие качественные отводки в маточниках – 64-143, 54-118, 57-490, 70-6-8, 62-396.

#### Список источников литературы

- Куликов, И.М. Развитие и эффективность садоводства в сельскохозяйственных организациях / И.М. Куликов, И.А. Минаков // Садоводство и виноградарство. – 2017. – № 2. – С. 11–17.
- Актуальные направления повышения эффективности промышленного плодоводства / Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.К. и др. // Селекция и семеноводство садовых культур. – 2018. – Т. 5. – № 1. – С. 28–32.
- Минаков, И.А. Проблемы и перспективы развития садоводства в России / Минаков И.А., Куликов И.М. // Садоводство и виноградарство. – 2018. – № 6. – С. 40–46.
- Атрощенко, Г.П. Интенсивное питомниководство: учебно-методическое пособие / Атрощенко Г.П., Щербакова Г.В., Скрипниченко М.М. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 62 с.
- Перспективные сорта и технологии возделывания яблони в условиях юга России / Егоров Е.А., Причко Т.Г., Ульяновская Е.В. и др. – Краснодар, 2018. – 78 с.
- Fazio, G. Genetics, Breeding and Genomics of Apple Rootstocks // The Apple Genome. Compadium of Plant Genome / ed. S.S. Korban. – Springer, Cham, 2021. – P. 105–130. – URL: <https://doi.org/10.1007/978.3-030-74682-76> (accessed 24.10.2022).
- Bhat, M.A. Impact analysis of Clonal rootstocks x scions interface on scab and Alternaria leaf blotch of apple / M.A. Bhat, S.A. Vousuf, N. Sakib // Indian Phytopathology. – 2022. – № 75. – P. 377–382. – URL: <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00470-3> (accessed 24.10.2022).

8. Соломатин, Н.М. Генофонд вегетативно размножаемых форм яблони для улучшения сортимента подвоев, сырьевых и декоративных сортов в условиях ЦЧР: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д-ра с.-х. наук / Н.М. Соломатин. – Москва, 2018. – 40 с.
9. Трунов, Ю.В. Перспективы клоновых подвоев яблони для интенсивных садов / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев, Р.В. Папихин // Садоводство и виноградарство. – 2020. – № 2. – С. 34–40.
10. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Сорта растений. – Москва: ФГБНУ Росинформагротех, 2022. – 646 с.
11. Тарова, З.Н. Оценка зимостойкости новых слаборослых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ в полевых и лабораторных условиях / З.Н. Тарова, Н. Л. Чурикова, Р.В. Папихин // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2019. – № 3. – С. 27–30.
12. Козловская, З.А. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда / З.А. Козловская. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 249 с.

### References

1. Kulikov, I.M., Minakov, I.A. (2017), Development and efficiency of horticulture in agricultural organizations, *Sadovodstvo i vinogradarstv*, no. 2, pp. 11–17. (in Russ.)
2. Egorov, E.A., Shadrina, Zh.A., Koch'yan, G.K., et al. (2018), Actual directions for increasing efficiency of industrial fruit growing, *Selekcija i semenovodstvo sadovyh kul'tur*, vol. 5, no. 1, pp. 28–32. (in Russ.)
3. Minakov, I.A., Kulikov, I.M. (2018), Problems and perspectives for the development of horticulture in Russia, *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, no. 6, pp. 40–46. (in Russ.)
4. Atroshchenko, G.P., Shcherbakova, G.V., Skripnichenko, M.M. (2018), *Intensivnoe pitomnikovodstvo: uchebno-metodicheskoe posobie* [Intensive Nursery: teaching aid], Saint-Petersburg, SPbGAU, 62 p. (in Russ.)
5. Egorov, E.A., Prichko, T.G., Ul'yanovskaya, E.V., et al. (2018), *Perspektivnye sorta i tekhnologii vozdelevaniya yabloni v usloviyah yuga Rossii* [Promising varieties and cultivation technologies of apple trees in the conditions of South of Russia], Krasnodar, 78 p. (in Russ.)
6. Fazio, G. (2021), Genetics, Breeding and Genomics of Apple Rootstocks, in Korban, S.S. (ed.), *The Apple Genome. Compadium of Plant Genome*, Springer, Cham, pp. 105–130, available: <https://doi.org/10.10007/978.3-030-74682-76> (accessed 24.10.2022).
7. Bhat, M.A., Vousuf, S.A., Sakib, N. (2022), Impact analysis of Clonal rootstocks h scions interface on scab and Alternaria leaf blotch of apple, *Indian Phytopathology*, no. 75, pp. 377–382, available: <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00470-3> (accessed 24.10.2022).
8. Solomatin, N.M. (2018), *Genofond vegetativno razmnnozhaemyh form yabloni dlya uluchsheniya sortimenta podvoev, syr'evykh i dekorativnykh sortov v usloviyah CChR* [Gene pool of vegetatively propagated apple forms for improvement assortment of rootstocks, raw and ornamental varieties in the conditions of the Central Chernozem Region], avtoref. dissert. d. s.-h. nauk, Moskva, 40 p. (in Russ.)
9. Trunov, Yu.V., Solov'ev, A.V., Papihin, R.V. (2020), The perspectives of clonal apple rootstocks for intensive gardens, *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, no. 2, pp. 34–40. (in Russ.)
10. *Gosudarstvennyj reestr selekcionnykh dostizhenij, dopushchennykh k ispol'zovaniyu v RF. Sorta rastenij* [State register of breeding achievements approved for use in the Russian Federation. Plant varieties] (2022), Moskva, FGBNU Rosinformagrotekh, 646 p. (in Russ.)
11. Tarova, Z.N., Churikova, N. L., Papihin, R.V. (2019), Evaluation of winter hardiness of new undersized clonal rootstocks of apple trees bred at Michurinsky State Agrarian University in field and laboratory conditions, *Vestnik Michurinskogo GAU*, no. 3, pp. 27–30. (in Russ.)
12. Kozlovskaya, Z.A. (2019), *Geneticheskie osnovy i metodika selekcii plodovykh kul'tur i vinograda* [Genetic bases and methods of fruit crops and grapes breeding], Minsk, Belaruskaya navuka, 249 p. (in Russ.)

### Сведения об авторах

**Атрощенко Геннадий Парфенович** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spm-код: 2888-0642.

**Горбачева Наталья Николаевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spm-код: 5957-3977.

**Асир Наджибулла** – аспирант кафедры плодовоощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 3515-3776.

#### **Information about authors**

**Gennady P. Atroshchenko** – Doctor of Agricultural Sciences, docent of the department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 2888-0642.

**Natalia N. Gorbacheva** – Candidate of Agricultural Sciences, docent of the department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 5957-3977.

**Najeebullah Asir** – postgraduate student of the department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 3515-3776.

**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 reviewed and approved the submitted final version.

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

*Статья поступила в редакцию 27.02.2023; одобрена после рецензирования 17.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 27.02.2023; approved after reviewing 17.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 632.7/.937.14:633.853.494

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-51-58

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАПСА ЯРОВОГО ОТ КАПУСТНОЙ МОЛИ

Ольга Александровна Кривченко<sup>1</sup>, Михаил Николаевич Шорохов<sup>2</sup>,  
Олег Викторович Долженко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, шоссе Подбельского, д. 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608; Инновационный центр защиты растений, ул. Пушкинская, д. 20, лит. А, пом. 7-Н, Пушкин, Санкт-Петербург, 196607, Россия; krivchenko@iczr.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4738-8861>

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, шоссе Подбельского, д. 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608; Инновационный центр защиты растений, ул. Пушкинская, д. 20, лит. А, пом. 7-Н, Пушкин, Санкт-Петербург, 196607, Россия; shorochov@iczr.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9409-7792>

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, шоссе Подбельского, д. 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия; agrozara86@mail.ru

**Реферат.** В последнее время рапс является широко возделываемой и экономически значимой культурой. Однако на рапсе постоянно встречается опасный вредитель – капустная моль (*Plutella xylostella* Curt.). Без грамотной системы защиты от данного вредителя урожайность культуры снижается во много раз. Для снижения численности и, соответственно, вредоносности капустной моли используют инсектициды. В настоящий момент в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, представлено достаточное количество химических инсектицидов, но в условиях экологизации процесса защиты сельскохозяйственных культур стоит обратить особое внимание на биологические препараты, учитывая, что они демонстрируют эффективность на уровне химических препаратов.

Полевые исследования проводили с целью определения биологической эффективности биологического инсектицида Биослип БВ, Ж (*Beauveria bassiana* ОРВ-43 титр не менее  $1\text{-}7 \times 10^8$  КОЕ/мл), применяемого способом опрыскивания рапса ярового во время вегетации. Для достижения поставленной цели провели работу в 2020–2021 гг. в полевых мелкоделяночных опытах в Ленинградской и Нижегородской областях. Препарат испытывали однократно и в двух нормах применения – 2,0 и 2,5 л/га. По результатам полевых исследований можно сделать вывод, что изучаемый препарат показал биологическую эффективность, достаточную для уменьшения численности вредителя ниже экономического порога вредоносности. Биологическая эффективность исследуемого препарата была в пределах от 42,0 до 67,9%. Во всех вариантах опытов с препаратами достоверные отличия отмечены только с контролем без обработки. На основании данных, полученных нами в процессе исследований, биопрепарат Биослип БВ включен в каталог пестицидов и агрохимикатов в соответствии с регламентами применения.

**Ключевые слова:** рапс яровой, капустная моль, Биослип БВ, Ж, биологическая эффективность

**Цитирование.** Кривченко О.А., Шорохов М.Н., Долженко О.В. Биологическая защита рапса ярового от капустной моли // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (70). – С. 51–58. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-51-58

## BIOLOGICAL PROTECTION OF SPRING RAPESEED FROM CABBAGE MOTH

**Olga A. Krivchenko<sup>1,2</sup>, Mikhail N. Shorokhov<sup>1,2</sup>, Oleg V. Dolzhenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection, Podbelsky Highway, 3, Pushkin, St. Petersburg, 196608; Innovative Plant Protection Center, Pushkinskaya str., 20, lit. A, room 7-N, Pushkin, St. Petersburg, 196607, Russia; krivchenko@icZR.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4738-8861>

<sup>2</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection, Podbelsky Highway, 3, Pushkin, St. Petersburg, 196608; Innovative Plant Protection Center, Pushkinskaya str., 20, lit. A, room 7-N, Pushkin, St. Petersburg, 196607, Russia; shorokhov@icZR.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9409-7792>

<sup>3</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection, Podbelsky Highway, 3, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Russia; agrozara86@mail.ru

**Abstract.** Recently, rapeseed has become a widely cultivated and economically important crop. However, a dangerous pest is constantly found on rapeseed - cabbage moth (*Plutella xylostella* Curt.). Without a competent system of protection against this pest, crop yields are reduced many times over. Insecticides are used to reduce the number and therefore the harmfulness of cabbage moths. At the moment, the State Catalog of Pesticides and Agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation contains a sufficient number of chemical insecticides, but in the context of the greening of the crop protection process, it is worth paying special attention to biological preparations, given that they demonstrate effectiveness at the level of chemical preparations.

Field studies were carried out to determine the biological effectiveness of the biological insecticide Bioslip BV, Zh (Beauveria bassiana ORV-43 titer not less than 1-7x10<sup>8</sup> CFU/ml), used by spraying spring rapeseed during the growing season. To achieve this goal, work was carried out in 2020-2021 in field small-plot experiments in the Leningrad and Nizhny Novgorod regions. The drug was tested once and in two application rates – 2.0 and 2.5 l/ha. Based on the results of field studies, it can be concluded that the studied preparation showed biological efficiency sufficient to reduce the pest population below the economic threshold of harmfulness. The biological effectiveness of the study drug ranged from 42.0% to 67.9%. In all variants of experiments with preparations, significant differences were noted only with control without treatment. Based on the data obtained by us in the course of research, the biological product Bioslip BV is included in the catalog of pesticides and agrochemicals in accordance with the regulations for use.

**Keywords:** *spring rapeseed, cabbage moth, Bioslip BV, Zh, biological efficiency*

**Citation.** Krivchenko, O.A., Shorokhov, M.N., Dolzhenko, O.V. (2023), Biological protection of spring rapeseed from cabbage moth, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 51–58. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-51-58

**Введение.** Рапс является особо ценной масличной культурой. В настоящее время переработка семян рапса позволяет получить качественное масло, а продукты переработки, такие как жмых и шрот (с содержанием белка до 40%), являются основными источниками обеспечения животноводства полноценными белками. Важно отметить, что рапс – это также

ценный источник зеленой массы на корм, сидерат и прекрасный медонос. Современные технологии позволяют использовать рапсовое масло в качестве добавки к горючему, что сокращает выделение опасных продуктов сгорания в атмосферу. В России рапс, как возобновляемый источник сырья и энергии, должен занять соответствующее место среди ведущих масличных культур [1].

Одной из причин недобора урожая данной культуры является комплекс вредителей [2–4], в частности, капустная моль (*Plutella xylostella* Curt.) [5; 6].

Капустная моль – опасный вредитель крестоцветных культур. Она повреждает все виды капусты, горчицу, редьку и рапс [7]. Особенностью данного вредителя является то, что период вылета бабочек растянут во времени, поэтому на посевах можно обнаружить моль на разных стадиях развития. Данная особенность обуславливает трудности в борьбе с ней, так как уязвимыми фазами являются имаго и гусеницы I–II возраста [8].

В 2021 г. в Российской Федерации отмечено массовое размножение этого вредителя [9], по данным Россельхозцентра, обработанные площади значительно превышали показатели 2020 г.

Для защиты рапса ярового от капустной моли на территории РФ рекомендован довольно широкий ассортимент препаратов на основе различных действующих веществ. Для подавления вредителя в период вегетации с целью предотвращения резистентности необходимо чередование препаратов из разных химических классов [10; 11].

На лидирующие позиции выходят смесевые препараты, содержащие действующие вещества с инсектицидными свойствами из разных химических классов, а также биологические препараты.

*Beauveria bassiana* – энтомопатогенный гриб. Он является космополитом. Он вызывает у насекомых грибную болезнь – белая мускардина. Данный вид гриба имеет сложную внутривидовую структуру, которая представлена широким спектром подвидов, приуроченных к конкретной группе насекомых.

Жизнеспособные конидии, или бластоспоры, попадают на поверхность тела насекомого и прорастают в его внутренние ткани, образуя мицелий. Гифы постепенно проникают в гемолимфу, где начинается активное размножение и распространение гриба по всему организму насекомого. При этом патоген потребляет растворенные в гемолимфе питательные вещества и продуцирует токсины, в частности боверин.

В результате насекомое-хозяин погибает от истощения и интоксикации. Мицелий развивается и выходит через покровы на поверхность тела. Здесь формируются споры, которые в дальнейшем отвечают за заражение следующей генерации насекомых [12].

**Цель исследований.** В связи с высокой вредоносностью и массовым размножением данного вредителя актуальность проведения исследований с целью установления биологической эффективности биопрепарата Биослип БВ, Ж (здесь и далее по тексту препаративная форма – Жидкость) (*Beauveria bassiana* ОРВ-43 титр не менее  $1-7 \times 10^8$  КОЕ/мл) была очевидной.

**Материалы, методы и объекты исследования.** В вегетационные сезоны 2020 и 2021 гг. нами была проведена оценка биологической эффективности биопрепарата Биослип БВ, Ж (*Beauveria bassiana* ОРВ-43, титр не менее  $1-7 \times 10^8$  КОЕ/мл) в условиях Ленинградской области (2020 г.) и Нижегородской области (2021 г.) на рапсе яровом сорта Ратник. В 2020 г. исследования проводили на базе Тосненской опытной станции защиты растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ВИЗР), в 2021 г. –

в Богородском районе Нижегородской области на базе КСХ «Антей». Схема опытов представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема опытов в Ленинградской и Нижегородской областях (2020–2021 гг.)  
Table 1. Scheme of experiments in Leningrad and Nizhny Novgorod regions (2020–2021)

№ п/п	Наименование препарата	Норма применения препарата, л/га
1	Биослип БВ, Ж	2,0
	Биослип БВ, Ж	2,5
2	Эсперо, КС (200+120 г/л)/эталон/	0,2
3	Контроль	–

Опыты заложены в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть» [13], а также «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве» (2009).

Учеты проводили путем определения количества гусениц на 10 растениях каждой повторности опыта до обработки и на 3-и, 7-е, 14-е сутки после обработки.

Биологическая эффективность препарата определялась по снижению численности гусениц относительно исходной с поправкой на контроль и рассчитывали по формуле Хендерсона – Тилтона.

Обработка осуществлялась при помощи ранцевого опрыскивателя «Solo-456». Обработка однократная.

Агрохимическая характеристика почвы опытных участков: почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, pH-5,9-6,0 (2020 г.), дерново-подзолистая, среднесуглинистая, pH-6,1 (2021 г.).

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б.А. Доспехову (1985) и с помощью программы Statistika 6.0 для Windows.

**Результаты исследования.** В Ленинградской области в 2020 г. первое поколение капустной моли развивалось на крестоцветной сорной растительности, второе и третье – на рапсе яровом и других капустных растениях. На рапсе второе поколение было растянутым и наиболее вредоносным, третье – неполным и малочисленным.

Опрыскивание было проведено по гусеницам второго поколения при средней численности 1,4–1,6 особей / растение и заселенности 15% растений. Гусеницы I возраста составляли 10–15%, гусеницы II возраста – 85–90%.

В контроле в течение 7 суток после закладки опыта заселенность растений капустной молью возросла до 28%, численность гусениц – до 2,3–3,8 особей / растение, в результате экономический порог вредоносности (ЭПВ) был превышен более чем в 2 раза (ЭПВ составляет 2–3 гусеницы при 10% заселенности растений).

На делянках, обработанных препаратом Биослип БВ, численность капустной моли в течение опыта варьировала в пределах 1,1–1,8 гусениц / растение (при норме применения 2,0 л/га), 0,9–1,3 гусениц / растение (2,5 л/га) и была ниже ЭПВ. Биологическая эффективность составила 67,9–42,0% (2,0 л/га) и 76,0–55,9% (2,5 л/га) соответственно по суткам после обработки (табл. 2).

Таблица 2. Биологическая эффективность препарата Биослип БВ, Ж в борьбе с капустной молью на рапсе яровом в Ленинградской области (2020 г.)

Table 2. Biological efficacy of Bioslip BV, Zh in the fight against cabbage moth on spring rape in the Leningrad region (2020)

Вариант опыта	Норма применения препарата, л/га	Среднее число гусениц на растение				Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %		
		до обработки	после обработки по суткам учетов			3	7	14
			3	7	14			
Биослип БВ, Ж	2,0	1,5	1,1	1,4	1,8	57,2	67,9	42,0
	2,5	1,9	0,9	1,0	1,3	73,2	76,0	55,9
Эсперо, КС (200+120 г/л) /эталон/	0,2	1,6	0,7	0,6	0,4	73,3	86,5	88,7
Контроль	–	1,4	2,3	3,8	2,9	–	–	–
НСР <sub>0,5</sub>	–	0,81	0,71	1,05	0,76	–	–	–

Первое поколение капустной моли развивалось на крестоцветной сорной растительности в мае – начале июня 2021 г. при погодных условиях, близких к климатической норме.

Второе и третье поколения были трофически связаны с рапсом яровым и развивались в июне-июле, когда установилась жаркая, преимущественно сухая погода со среднесуточными температурами воздуха выше нормы на 5–8°C.

Лёт бабочек второго поколения и откладка яиц проходили во второй половине июня. Отродившиеся из яиц гусеницы I возраста образовывали мины на нижней стороне листьев. После первой линьки гусеницы II возраста выходили из мин и здесь же открыто питались листьями, выгрызая в них «окошки».

Таблица 3. Биологическая эффективность препарата Биослип БВ, Ж в борьбе с капустной молью на рапсе яровом в Нижегородской области (2021 г.) \*

Table 3. Biological efficacy of Bioslip BV, Zh in the fight against cabbage moth on spring rape in the Nizhny Novgorod region (2021) \*

Варианты опыта	Норма применения препарата, л/га	Среднее число гусениц на растение				Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль по суткам учетов после обработки, %		
		до обработки	после обработки по суткам учетов			3	7	14
			3	7	14			
Биослип БВ, Ж	2,0	2,1	1,0	1,2	2,0	56,9	57,6	38,7
	2,5	2,7	1,2	1,5	2,4	61,2	58,7	45,6
Эсперо, КС (200+120 г/л) /эталон/	0,2	2,3	0,7	1,1	1,9	70,9	61,2	46,2
Контроль	–	2,5	2,8	3,3	4,0*	–	–	–
НСР <sub>0,5</sub>	–	0,83	0,78	0,76	0,75	–	–	–

\* В контроле – гусеницы второго (85%) и третьего (15%) поколений.



Опрыскивание рапса было проведено в фазе стеблевания по гусеницам I–II возраста второго поколения капустной моли при средней численности 2,1–2,7 гусениц / растение и 20% заселенности растений (ЭПВ=2–3 гусеницы при 10% заселенности растений).

В контроле на 3-и и 7-е учетные сутки численность гусениц повысилась до 2,8 и 3,3 особей / растение, на делянках с препаратом Биослип БВ она не превышала 1,0 и 1,2 особей (2,0 л/га) и 1,2 и 1,5 особей (2,5 л/га).

Биологическая эффективность биопрепарата в норме применения 2,0 л/га составила 56,9% и 57,6%, в норме применения 2,5 л/га – 61,2% и 58,7% соответственно. Эффективность эталонного инсектицида на 3-и сутки после обработки была на уровне 70,9% и заметно превышала варианты с биопрепаратом, на 7-е сутки их защитное действие практически сравнялось.

На фоне высоких температур и засухи отмечено ускоренное развитие капустной моли и наложение второго поколения вредителя на третье – в контроле на 14-е учетные сутки одновременно присутствовали гусеницы 3–4 возраста второго поколения и отродившиеся из яиц гусеницы третьего поколения с суммарной численностью 4,0 гусеницы / растение.

На делянках, обработанных препаратом Биослип БВ, численность вредителя на 3–7-е сутки была ниже ЭПВ, на 14-е сутки повысилась до 2,0–2,1 гусениц / растение и приблизилась к порогу вредоносности. Биологическая эффективность биопрепарата снизилась до 38,7% (2,0 л/га) и 45,6% (2,5 л/га), эталонного – до 46,2%, что свидетельствовало не только о снижении защитного действия в условиях аномально высоких температур и засухи, но и о целесообразности повторной обработки (табл. 3).

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования в части установления биологической эффективности инсектицида Биослип БВ, Ж (*Beauveria bassiana* ОРВ-43, титр не менее  $1-7 \times 10^8$  КОЕ/мл) в нормах применения 2,0 л/га и 2,5 л/га показали, что изучаемый препарат может обеспечить эффективную защиту рапса ярового от капустной моли. Снижение численности вредителя составило 42,0–67,9% (2,0 л/га) и 76,0–55,9% (2,5 л/га) в 2020 г. в Ленинградской области, в 2021 г. – 38,7–57,6% (2,0 л/га), 45,6–61,2% (2,5 л/га) в Нижегородской области.

На основании наших исследований препарат Биослип БВ, Ж (*Beauveria bassiana* ОРВ-43, титр не менее  $1-7 \times 10^8$  КОЕ/мл) находится в перечне препаратов, зарегистрированных в «Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» (2022 г.), и мы рекомендуем его к применению в установленных регламентах.

#### Список источников литературы

1. Пилюк, Я.Э. Технологические основы возделывания ярового рапса в Республике Беларусь / Я.Э. Пилюк // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 1. – С. 33–37.
2. Popova, T.A. Studying the biological efficacy of insecticides the seedlings of rapeseed / T.A. Popova, N.I. Petrova // Вестник Северо-Казахстанского государственного университета имени Манаша Козыбаева. – 2019. – № 2 (43). – С. 22–26.
3. Influence of insecticides on productivity in rape crops in Akmola region / M.N. Sertek, Sh. Sh. Bekenova, A.P. Nauanova, Z.SH. Suleimenova // Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university. – 2020. – № 4 (107). – С. 30–38.
4. Productivity and economic efficiency of protection products on spring rape hybrids in the condition of the Krasnoyarsk forest steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. – Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of

- Scientific and Engineering Associations / A.N. Khalipisky, E.N. Oleynikova, N.I. Pyzhikova, I.I. Grishina. – 2020. – Vol. 548. – P. 22068.
5. Чурикова, В.Г. Обоснование сроков эффективного применения инсектицидов в борьбе с капустной молью на рапсе яровом / В.Г. Чурикова, А.И. Силаев // *Аграрный научный журнал*. – 2020. – № 11. – С. 71–77.
  6. Холод, А.С. Капустная моль – угроза посевам рапса в Омской области / А.С. Холод, А.Ф. Кореньюк // *Защита и карантин растений*. – 2016. – № 5. – С. 32–33.
  7. Интегрированные системы защиты озимого и ярового рапса от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / С.В. Сорока [и др.]. – Минск: Колорград, 2016. – 124 с.
  8. Шпанев, А.М. Новые случаи массового размножения капустной моли / А.М. Шпанев // *Защита и карантин растений*. – 2021. – № 4. – С. 27–30.
  9. Поиск эффективных инсектицидов для борьбы с капустной молью на рапсе / А.С. Савельев, Т.Ф. Девяткина, С.С. Чигорин, С.А. Девяткин, Д.В. Бочкарев // *Защита и карантин растений*. – 2020. – № 6. – С. 20–21.
  10. Горбунов, М.Ю. Критерии эффективности инсектицидов в тактике и стратегии защиты ярового рапса от капустной моли / М.Ю. Горбунов, С.А. Суслов, А.Н. Мрачковская // *Евразийское Научное Объединение*. – 2020. – № 6-6 (64). – С. 488–490.
  11. Бударевич, А.П. Контроль численности рапсового цветоеда и капустной моли в посевах ярового рапса двухкомпонентными инсектицидами / А.П. Бударевич, И.В. Богомолова // *Защита растений*. – 2019. – № 43. – С. 234–238.
  12. МУК 4.2.3530-18 Метод микробиологического измерения концентрации *Beauveria bassiana* ОРВ-43 в воздухе рабочей зоны: Методические указания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. – 10 с.
  13. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть. – Москва, 2018. – 56 с.

#### References

1. Pilyuk, Ya.E. (2018), Technological bases of spring rapeseed cultivation in the Republic of Belarus, *Agriculture and plant protection*, no. 1, pp. 33–37. (in Russ.)
2. Popova, T.A., Petrova, N.I. (2019), Studying the biological efficacy of insecticides the seedlings of rapeseed, *Bulletin of the North Kazakhstan State University named after Manash Kozybayev*, no. 2 (43), pp. 22–26.
3. Sertek, M.N., Bekenova, Sh. Sh., Nauanova, A.P., Suleimenova, Z.SH. (2020), Influence of insecticides on productivity in rape crops in Akmola region, *Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university*, no. 4 (107), pp. 30–38.
4. Khalipisky, A.N., Oleynikova, E.N., Pyzhikova, N.I., Grishina, I.I. (2020), Productivity and economic efficiency of protection products on spring rape hybrids in the condition of the Krasnoyarsk forest steppe, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*, Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, vol. 548, p. 22068.
5. Churikova, V.G., Silaev, A.I. (2020), Justification of the terms of effective use of insecticides in the fight against cabbage moth on spring rapeseed, *Agrarian scientific journal*, no. 11, pp. 71–77.
6. Kholod, A.S., Korenyuk, A.F. (2016), Cabbage moth – a threat to rapeseed crops in the Omsk region, *Protection and quarantine*, no. 5, pp. 32–33. (in Russ.)
7. Soroka, S.V., *Integrirovannye sistemy zashchity ozimogo i yarovogo rapsa ot vreditel'ej, boleznej iornyakov: rekomendacii* [Integrated systems of protection of winter and spring rapeseed from pests, diseases and weeds: recommendations], Colorgrad, Minsk, Belarus, 124 p. (in Russ.)
8. Shpanev, A.M. (2021), New cases of mass reproduction of cabbage moth, *Protection and quarantine*, no. 4, pp. 27–30. (in Russ.)
9. Savelyev, A.S., Devyatkina, T.F., Chigorin, S.S., Devyatkin, S.A., Bochkarev, D.V. (2020), Search for effective insecticides to combat cabbage moth on rapeseed, *Protection and quarantine*, no. 6, pp. 20–21. (in Russ.)
10. Gorbunov, M. Yu., Suslov, S. A., Mrachkovskaya, A. N. (2020), Criteria for the effectiveness of insecticides in tactics and strategies for protecting spring rape from cabbage moth, *Eurasian Scientific Association*, no. 6-6 (64), pp. 488–490. (in Russ.)

11. Budrevich, A.P., Bogomolova, I.V. (2019), Control of the number of rapeseed flower eater and cabbage moth in spring rapeseed crops with two-component insecticides, *Plant protection*, no. 43, pp. 234–238. (in Russ.)
12. MUK 4.2.3530-18 *Metod mikrobiologicheskogo izmereniya koncentracii Beauveria bassiana ORV-43 v vozduhe rabochej zony: Metodicheskie ukazaniya* [Method of microbiological measurement of the concentration of Beauveria bassiana ORV-43 in the air of the working area: Methodological guidelines] (2018), Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being, Moscow, Russia, 10 p. (in Russ.)
13. *Metodicheskie ukazaniya po registracionnym ispytaniyam pesticidov v chasti biologicheskoy effektivnosti. Obshchaya chast'* [Guidelines for registration tests of pesticides in terms of biological efficacy. The general part] (2018), Moscow, Russia. 56 p. (in Russ.)

#### Сведения об авторах

**Кривченко Ольга Александровна** – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», руководитель группы по инсектицидам ООО «Инновационный центр защиты растений», spin-код: 6719-2653.

**Шорохов Михаил Николаевич** – кандидат биологических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», старший научный сотрудник ООО «Инновационный центр защиты растений», spin-код: 2589-7869.

**Долженко Олег Викторович** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», spin-код: 5460-6375.

#### Information about the authors

**Olga A. Krivchenko** – candidate of biological sciences, junior researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Plant Protection", head of the insecticide group of "Innovative Center for Plant Protection", spin-code: 6719-2653.

**Mikhail N. Shorokhov** – candidate of biological sciences, researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection", senior researcher at "Innovative Center for Plant Protection", spin-code: 2589-7869.

**Oleg V. Dolzhenko** – candidate of biological sciences, senior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Plant Protection", spin-code: 5460-6375

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 628.381.1

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-59-68

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУНТА, ОБОГАЩЕННОГО ОСАДКАМИ СТОЧНЫХ ВОД, ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

Ирина Владимировна Ельшаева<sup>1</sup>, Елена Владимировна Воропаева<sup>2</sup>,  
Анна Сергеевна Пинаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; elshaevaiv@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-3900-3044>

<sup>2</sup>Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, Петербургское шоссе,  
д.10, Пушкин, Санкт-Петербург, 196605, Россия; lena.voropaeva.1973@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-4989-5218>

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; pinaeva95@inbox.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>

**Реферат.** Целесообразность использования осадка сточных вод (ОСВ) при озеленении городских территорий очевидна с экологических и экономических позиций, однако требуют выяснения вопросы создания благоприятных условий для выращивания декоративных растений в каждом конкретном случае. Цель работы – изучение влияния грунта, приготовленного на основе ОСВ, на рост и развитие амаранта хвостатого сорта Лавина. В задачи исследования входило следующее: определение биомассы растений при внесении различных доз коммунальных отходов; оценка развития растений по морфологическим показателям; проведение агрохимического анализа исследуемых грунтов. Эффективность действия грунта на основе ОСВ определяли в сравнении с подкормкой полным минеральным удобрением. Для приготовления грунта были использованы коммунальные отходы: ОСВ городских очистных сооружений, зола каменного угля теплоэлектростанции и торф кислый верховой. Декоративные растения выращивали в оранжерее в течение двух месяцев в сосудах, вмещающих 500 г питательного грунта. Методика проведения эксперимента соответствовала требованиям, предъявляемым к вегетационным опытам. В течение вегетационного периода были определены морфологические показатели растений и содержание хлорофилла в листьях. После уборки опыта найдена общая масса растений и сделан агрохимический анализ грунта. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что внесение коммунальных отходов изменило зольность грунта и положительно повлияло на содержание фосфора и калия. В работе установлена четкая взаимосвязь между увеличением дозы ОСВ и изменением кислотности торфогрунта. Отмечено, что максимальная масса амаранта в опыте была получена при внесении рекомендуемой дозы отходов (грунт 1:0,25) совместно с подкормкой. Однако увеличение доли отходов в грунте не принесло существенной прибавки урожая. Использование данного грунта для выращивания декоративного амаранта целесообразно с применением подкормки.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, биомасса, декоративные растения, морфологические показатели

**Цитирование.** Ельшаева И.В., Воропаева Е.В., Пинаева А.С. Использование грунта, обогащенного осадком сточных вод, при выращивании декоративных растений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С.59–68. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-59–68

## USE OF SOIL ENRICHED WITH WASTEWATER DRAINAGE IN GROWING ORNAMENTAL PLANTS

Irina V. Elshaeva<sup>1</sup>, Elena V. Voropaeva<sup>2</sup>, Anna S. Pinaeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; elshaevaiv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3900-3044>

<sup>2</sup> Leningrad State University named after A.S. Pushkin, Peterburgskoyeshosse, 10, Pushkin, Saint-Petersburg, 196605, Russia; lena.voropaeva.1973@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4989-5218>

<sup>3</sup> Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; pinaeva95@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>

**Abstract.** The expediency of using wastewater drainage in urban garden is obvious from an environmental and economic point of view, but the issues of creating favorable conditions for growing ornamental plants in each specific case require clarification. The purpose of the work is to study the effect of soil prepared on the basis of wastewater drainage on the growth and development of *Lavina caudate* amaranth. The objectives of the study included the following: determination of plant biomass when applying different doses of municipal waste; assessment of plant development by morphological indicators; conducting agrochemical analysis of the studied soils. The effectiveness of soil action based on wastewater drainage was determined in comparison with top dressing with a complete mineral fertilizer. To prepare the soil, municipal waste was used: wastewater from urban wastewater treatment plants, coal ash from a thermal power plant and sour high-moor peat. Ornamental plants were grown in the greenhouse for two months in container containing 500 g of nutrient soil. The methodology of the experiment met the requirements for vegetation experiments. During the growing season, the morphological parameters of plants and the content of chlorophyll in the leaves were determined. After harvesting the experiment, the total mass of plants was found and an agrochemical analysis of the soil was made. As a result of the research, it can be concluded that the application of municipal waste has changed the ash content of the soil and positively affected the content of phosphorus and potassium. The work established a clear relationship between an increase in the dose of wastewater drainage and a change in the acidity of the peat soil. It was noted that the maximum mass of amaranth in the experiment was obtained by applying the recommended dose of waste (soil 1: 0.25) together with top dressing. However, an increase in the proportion of waste in the soil did not bring a significant increase in yield. The use of this soil for growing decorative amaranth is advisable with the use of top dressing.

**Keywords:** *wastewater drainage, biomass, ornamental plants, morphological indicators*

**Citation.** Elshaeva, I.V., Voropaeva, E.V., Pinaeva, A.S. (2023), Use of soil enriched with wastewater drainage in growing ornamental plants, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 59–68. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-59-68

**Введение.** Утилизация отходов является одной из основных экологических проблем современного общества. Значительную долю среди отходов занимают стоки городов и промышленных предприятий, поступающие на очистные сооружения. Технологический процесс очистки направлен на выделение всех видов загрязняющих веществ и обеззараживание сточных вод. В результате на очистных сооружениях накапливаются осадки сточных вод (ОСВ), представляющие собой отходы механической, биологической и физико-химической очистки поверхностных и подземных вод, сточных вод поселений и близких к ним по составу производственных сточных вод.

Количество и состав образующихся осадков обусловлены способами их очистки, содержанием загрязняющих веществ. В составе осадков присутствуют: большое количество органического вещества, азот, фосфор, калий, различные микроэлементы. Количество основных элементов питания в применяемых ОСВ может быть больше, чем в навозе крупного рогатого скота (КРС) [1].

Самым распространенным методом утилизации ОСВ в России является размещение осадков на полях фильтрации, иловых картах и отвалах, где они накапливаются в большом объеме. В результате ограниченности территории складирования осадков во многих случаях возникает проблема их размещения. При ненадлежащем хранении существует вероятность поступления загрязняющих веществ в природные водоемы и подземные воды, почвы, растительные сообщества.

Уничтожение ОСВ путем сжигания является вредным для окружающей среды процессом. При утилизации таким способом могут выделяться бензапирен, диоксины, фураны и другие вещества, загрязняющие окружающую среду [2]. Одним из направлений утилизации отходов является применение ОСВ в качестве наполнителей при изготовлении бетона, строительной керамики, стекла, пигментов, красок и др. ОСВ используют также для получения биогаза и углеводов. Все эти способы подразумевают применение высокотехнологичного оборудования и проведение дополнительных затрат.

Наиболее перспективным является использование ОСВ в качестве удобрений для сельского хозяйства. Как органо-минеральное удобрение, осадки положительно влияют на плодородие, структуру и состав почвы. При этом отмечают увеличение содержания органического вещества, сохранение влаги и агрегации, предотвращение эрозии почвы. Имеются данные о снижении плотности почвы, увеличении ее общей пористости, влагоемкости и содержания водопрочных агрегатов. Показано, что внесение осадков в почву имеет пролонгированное действие, т.е. воздействие сохраняется в течение нескольких последующих лет. Процессы образования гумуса при внесении ОСВ усиливаются. Установлено, что по содержанию сухого вещества и основных питательных веществ ОСВ не уступают подстильному навозу КРС [3].

В литературе имеется много исследований, доказывающих повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при внесении осадков в почву [4–7]. Отмечено положительное влияние ОСВ в качестве удобрения на биопродуктивность и биологическую активность почвы. Имеется опыт применения ОСВ в городском озеленении. Отмечается их благоприятное воздействие при внесении под декоративные культуры.

Однако, кроме примесей органических и минеральных веществ, ОСВ имеют в своем составе общетоксические, токсикогенетические, эмбриотоксические и канцерогенные соединения. По данным ряда исследователей, ОСВ содержат тяжелые металлы (ТМ): хром, кадмий, ртуть, медь, свинец, кобальт, цинк, молибден. В них также присутствуют различные

токсические вещества, из биологических объектов – бактерии, простейшие, гельминты, вирусы. Среди органических соединений наиболее часто обнаруживаются органические галогены, алкилбензолсульфонаты, нонилфенолы, диэтилгексилфталат, полиароматические углеводороды и другие соединения [8].

Содержание вредных и токсичных веществ ограничивает использование ОСВ в качестве удобрений, так как данные соединения в конечном итоге переходят в окружающую среду. Поэтому применение ОСВ регламентируется правовыми документами.

К настоящему времени разработаны некоторые способы по предотвращению поступления ТМ в природную среду. Одним из методов снижения концентрации ТМ является создание смесей ОСВ с нейтральными в этом отношении компонентами – соломой, опилками, навозом, торфом, древесной корой и т. п. Компостирование ОСВ с различными материалами является одним из способов подготовки осадков к использованию, приводя к установленным нормативам количества содержащихся в них токсичных веществ.

На основе экспериментальных данных установлены экологически безопасные дозы для применения осадков сточных вод, увеличивающие урожайность и улучшающие агрохимические показатели почвы. При этом концентрации ТМ в почве и продукции растениеводства оставались в допустимых пределах. Показано повышение урожайности культур без снижения качества урожая при применении ОСВ [5; 6].

В то же время при внесении ОСВ под сельскохозяйственные культуры может происходить накопление ТМ в почве и продукции. На примере многолетних опытов (5 ротаций 7-польного севооборота) показано, что систематическое внесение ОСВ увеличивает содержание в дерново-подзолистой почве валовых форм ТМ в 1,1–2,7 раза, кислоторастворимых и подвижных форм – от 2,1 до 6 раз. Увеличение концентрации ТМ в почве при внесении ОСВ приводит к накоплению их в растениях. Установлено, что приемы химической очистки и компостирования повышают безопасность и агрономическую ценность отходов [9].

Другими исследователями рекомендовано использовать ОСВ только для удобрения непродуктивных культур, таких как газоны, цветники, питомники. Отмечено положительное влияние осадков на рост декоративных растений, их применение увеличило скорость роста сальвии, альтернаты, лобелии, цинерарии, бархатцев на 30–88% [10]. Также установлена целесообразность применения ОСВ под многолетние травы (овсяница красная, райграс многолетний, мятлик луговой), используемые при озеленении городских территорий [11]. Таким образом, несмотря на большое количество исследований, существует проблема применения ОСВ, связанная с установлением оптимальных экологически безопасных доз при выращивании растений.

**Цель исследования** – оценка роста и развития амаранта хвостатого сорта Лавина, используемого для городского озеленения, в связи с применением различных доз ОСВ.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Эксперимент проведен в оранжерее ГАОУ ВО ЛО «Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина» в 2021 г. Выбор оптимальных соотношений отходов с кислым торфом и определение показателей развития растений проводили в условиях вегетационного опыта в сосудах емкостью 500 г, в трехкратной повторности. Для приготовления грунта были использованы коммунальные отходы: осадок сточных вод городских очистных сооружений, зола каменного угля теплоэлектростанции и торф кислый верховой. Исследуемые ОСВ содержат питательные элементы:  $P_2O_5$  – 367,5 мг/кг,  $K_2O$  – 155,7 мг/кг, N – 88,75 мг/кг, с щелочной реакцией среды

(рН– 10,7). Содержание тяжелых металлов (ТМ) не превышает нормативов, установленных ГОСТ Р 54651-2011. В опыте исследованы рекомендованное соотношение отходов и торфа (1:0,25) и соотношение с увеличенной дозой отходов (1:0,5). В качестве варианта сравнения рассматривался вариант с использованием верхового торфа. Этот грунт традиционно используется для выращивания декоративных растений в оранжерее. Исследование удобрительной ценности отходов проводили на фоне подкормки полным минеральным удобрением. Подкормка растений проводилась азофоской в дозе 3 г/л при расходе рабочего раствора 100 мл на один сосуд. Агрохимические показатели исследуемых грунтов и подробная схема опыта представлены в табл. 1.

Для выращивания в вегетационном эксперименте были выбраны амарант хвостатый *Amaranthuscaudatus* сорта Лавина. Амарант хвостатый является однолетним быстрорастущим растением с оригинальными соцветиями. Его используют в групповых посадках на фоне газона, в букетах и композициях. Амарант предпочитает рыхлые плодородные почвы и солнечное, защищенное от ветра место. В засушливые периоды он требует обильного полива. Растения высевали на рассаду, затем пикировали в горшочки и высаживали в емкости с подготовленным грунтом.

В опыте проводились измерения морфометрических показателей в динамике, по окончании эксперимента определяли массу надземной части растений. Также измерялся уровень содержания хлорофилла (индекс количества хлорофилла) в растениях прибором N-тестер. В приборе используется фотометрический метод диагностики, позволяющий определить обеспеченность растений азотом.

**Результаты исследования.** После уборки растений был проведен агрохимический анализ грунта (табл. 1).

Добавление в исследуемый грунт осадка сточных вод и золы значительно изменило кислотность в щелочную сторону – с 5,29 в контроле и до 8,32 единиц рН в варианте с максимальной дозой отходов. Одновременно повысилась и зольность по сравнению с контролем, более чем в 3 раза в варианте грунт 1:0,5 без подкормки. Содержание органического вещества возросло пропорционально снижению количества золы в грунте.

Таблица 1. Агрохимические показатели исследуемых грунтов  
 Table 1. Agrochemical indicators of the studied soils

Вариант	Органическое вещество, %	Зольность, %	рН
Контроль	93,66	6,34	5,29
Контроль+подк.	90,11	9,89	5,53
Грунт 1: 0,25	85,46	14,55	6,17
Грунт 1: 0,25+подк.	81,07	18,93	7,18
Грунт 1:0,5	76,28	23,72	7,73
Грунт 1:0,5+подк.	80,83	19,17	8,32

Внесение органических отходов положительно повлияло на содержание элементов питания. Внесение ОСВ существенно увеличило содержание подвижного фосфора, значение  $P_2O_5$  возросло более чем в 10 раз по сравнению с контролем (рис.1).



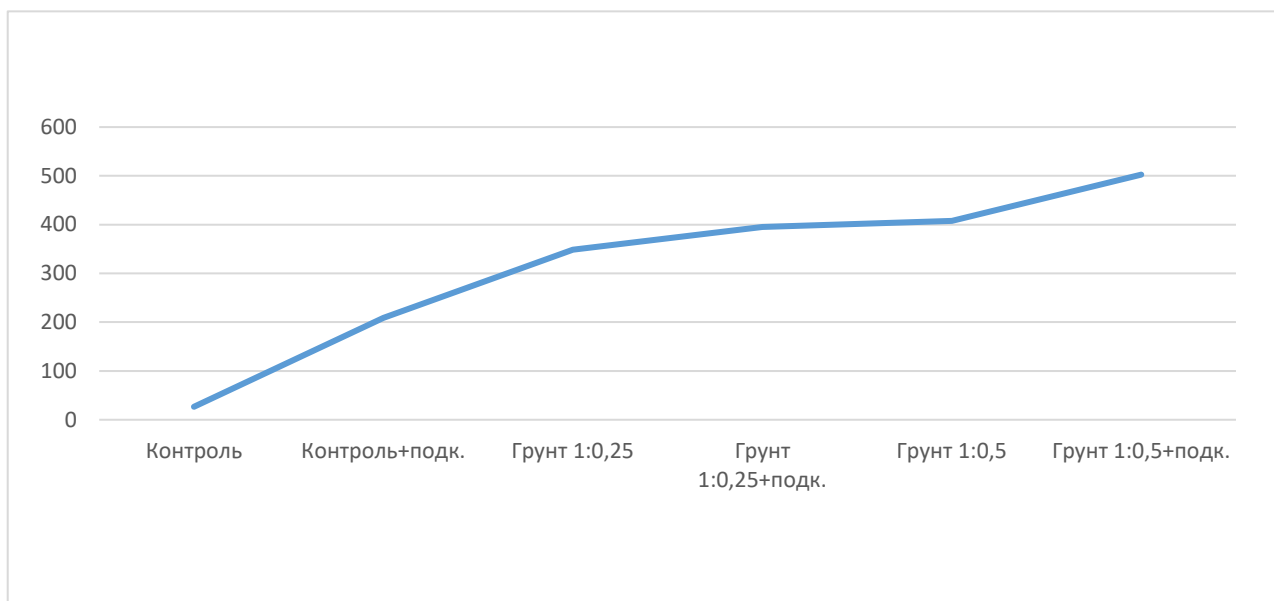


Рисунок 1. Содержание подвижного фосфора в грунте, мг/кг  
Figure 1. Content of mobile phosphorus in the soil, mg/kg

Увеличение дозы отходов в два раза не привело к существенному повышению фосфатного уровня, заметное влияние на содержание подвижного фосфора оказала подкормка минеральным удобрением.

Влияние коммунальных отходов на уровень доступного калия в грунте было значительнее и зависело от количества ОСВ и золы в составе грунта (рис. 2).



Рисунок 2. Содержание доступного калия, мг/кг  
Figure 2. Available potassium content, mg/kg

Несмотря на повышение уровня фосфора и калия, при добавлении осадка сточных вод к торфу существенного положительного влияния на рост растений отмечено не было (рис. 3). Масса растений была на уровне контрольного варианта в варианте с рекомендованной дозой ОСВ. Достоверное повышение биомассы во всех вариантах обеспечила только подкормка NPK. По результатам статистической обработки НСР<sub>05</sub> составила 3,2402.

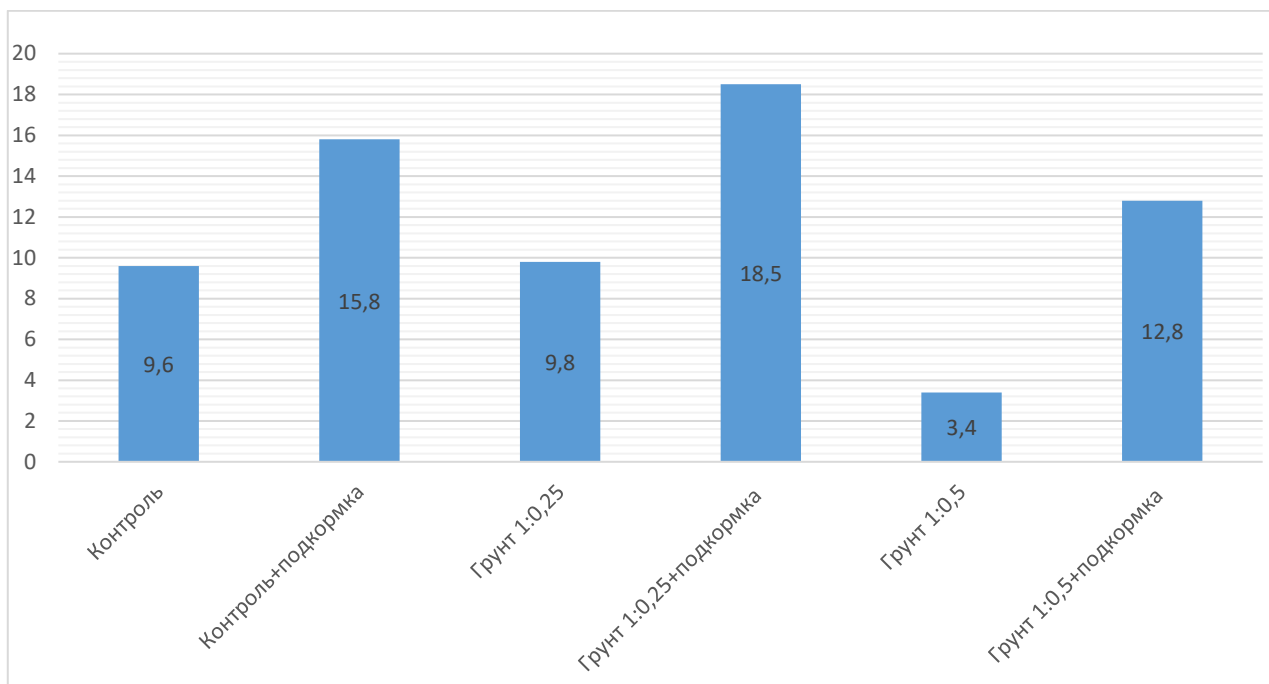


Рисунок 3. Масса растений в опыте, г/сосуд  
 Figure 3. Weight of plants in the experiment, g/vessel

Максимальная масса амаранта в опыте была получена при внесении рекомендуемой дозы отходов (грунт 1:0,25) совместно с подкормкой. Дальнейшее повышение количества отходов (вариант 1:0,5) привело к угнетению растений и снижению биомассы. Динамика развития растений по морфологическим параметрам представлена в табл. 2 и на рис. 4. В целом морфологическое развитие растений отвечает закономерности, отмеченной при анализе биомассы растений в конце вегетации. Растения, выращиваемые на техногрунте без подкормки (варианты грунт: 1: 0,25 и грунт 1: 0,5), проявляли признаки угнетения, вызванные, вероятно, недостатком доступного азота.

Таблица 2. Количество листьев на растении (среднее по варианту), шт.  
 Table 2. The number of leaves per plant (average by variant), pcs

Вариант	03.05	10.05	17.05	24.05	31.05	07.06	22.06	29.06	05.07
Контроль	7,3	8,0	12,3	14,0	15,0	15,0	12,0	13,0	18,0
Грунт 1: 0,25	7,6	8,0	8,7	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Грунт 1: 0,5	6,7	7,6	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Контроль+подк.	7,0	8,0	12,0	14,0	15,6	16,3	13,7	17,6	20,7
Грунт 1: 0,25+подк.	7,6	8,0	8,7	9,0	12,0	13,5	16,0	16,0	20,0
Грунт 1:0,5+подк.	6,7	7,6	9,0	9,0	10,0	12,0	13,5	15,2	19,2

Наиболее благоприятные условия для роста растений сложились в варианте с традиционным грунтом (рис. 4). Заметно прибавил в росте амарант после проведения подкормки полным минеральным удобрением при поливе 31 мая. В вариантах с применением коммунальных отходов высота растений была значительно ниже контроля. Здесь также можно отметить отзывчивость растений амаранта на внесение NPK.

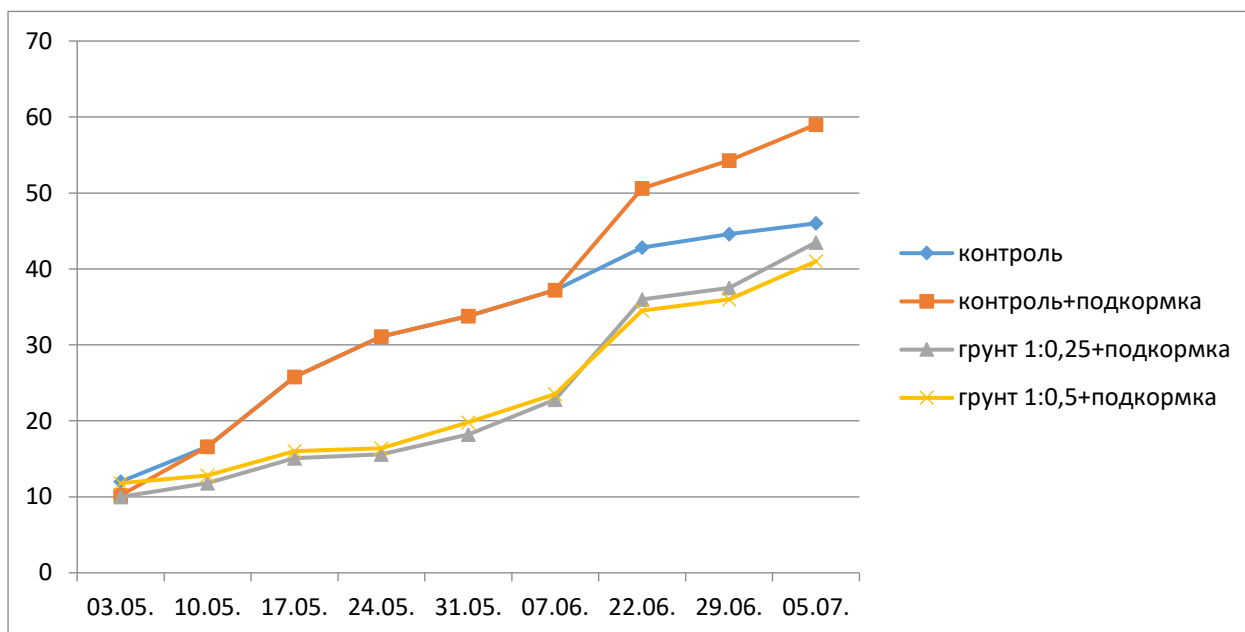


Рисунок 4. Высота растений в опыте, см  
Figure 4. Height of plants in the experiment, cm

Об обеспеченности растений азотом можно судить по данным прибора, фиксирующего содержание хлорофилла в листьях в условных единицах. Максимальный уровень отмечен на контрольных вариантах (200 и 205), варианты с грунтом 1:0,5+подкормка и 1:0,25+подкормка показали значение в 3,7–3,3 раза меньше (54 и 61). Снижение роста и развития растений на вариантах с добавлением ОСВ к торфу по сравнению с контрольными вариантами может быть вызвано недостатком азота в грунте.

**Выводы.** Добавление в исследуемый грунт осадка сточных вод и золы значительно изменило кислотность в щелочную сторону и повысило зольность.

Внесение органических отходов положительно влияло на содержание элементов питания. Внесение ОСВ существенно увеличивает содержание подвижного фосфора, значение  $P_2O_5$  возросло более чем в 10 раз по сравнению с контролем.

Добавление ОСВ к торфу имело положительное влияние на рост растений. Однако увеличение доли отходов в грунте не принесло существенной прибавки урожая. Использование данного грунта для выращивания декоративного амаранта целесообразно с применением подкормки.

#### Список источников литературы

1. Гаврилов, М.М. Выбор оптимального и актуального для сельского хозяйства метода переработки осадков сточных вод / М.М. Гаврилов, А.А. Пименов, П.Е. Красников // Природообустройство. – 2017. – № 5. – С. 63–69.
2. Валиев, В.С. Способы утилизации осадков городских сточных вод / В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 4(24). – С. 52–63.
3. Чеботарев, Н.Т. Агроэкологическая оценка применения осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур / Н.Т. Чеботарев, Н.Д. Найденов, А.А. Юдин // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2016. – № 1–2. – С. 31–36.
4. Sewage Sludge as a Soil Amendment for Growing Biomass Plant *ArundodonaxL.* / M. Gubišová, M. Horník, K. Hřčková, J. Gubis, A. Jakubcová, M. Hudcovicová, K. Ondřejčková // Agronomy. – 2020. – 10(5): 678.

5. Байбеков, Р.Ф. Продуктивность сельскохозяйственных культур при использовании удобрений из органических отходов на дерново-подзолистых почвах / Р.Ф. Байбеков, Г.Е. Мерзлая, О.А. Власова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 9. – С. 29–33.
6. Жигарева, Ю.В. Оценка эффективности применения осадков сточных вод при возделывании картофеля / Ю.В. Жигарева // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2018. – № 1(212). – С.117–122.
7. Ксенофонтов, Б.С. Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом / Б.С. Ксенофонтов // Экология промышленного производства. – 2020. – № 2 (110). – С. 20–24.
8. Lamastra, L. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer / L. Lamastra, N.A. Suci, M. Trevisan // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. –2018. – Vol. 5 (1). – doi: 10.1186/s40538-018-0122-3
9. Варламова, Л.Д. Нетрадиционные удобрительные материалы в растениеводческом комплексе России и Нижегородской области / Л.Д. Варламова, И.Д. Короленко // Агротехнический вестник. – 2017. – № 2. – С.15–20.
10. Брындина, Л.В. Влияние биологически очищенного осадка сточных вод на рост и развитие декоративных растений / Л.В. Брындина, О.В. Бакланова // Лесотехнический журнал. – 2019. – № 1(33). – С.23–30.
11. Березнёв, А.П. Эффективность применения различных доз осадков сточных вод под многолетние травы используемых при озеленении городских территорий / А.П. Березнёв, А. П. Томин, Н.А. Сидельников // Земледелие. – 2018. – № 3. – С. 31–33. – doi: 10.24411/0044-3913-201810307.

### References

1. Gavrilov, M.M., Pimenov, A.A., Krasnikov, P.E. (2017), Selection of the optimal and relevant for agriculture method of processing sewage sludge, *Prirodobustrojstvo*, no. 5, pp. 63–69. (In Russ.)
2. Valiev, V.S., Ivanov, D.V., SHagidullin, R.R. (2020), Methods of disposal of municipal sewage sludge, *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii*, no. 4(24), pp. 52–63. (In Russ.)
3. Chebotarev N.T., Najdenov N.D., Yudin A.A. (2016), Agroecological assessment of the use of sewage sludge as fertilizers for agricultural crops, *Nauka. Mysl',elektronnyj periodicheskiy zhurnal*, no. 1–2, pp. 31–36. (In Russ.)
4. Gubišová, M., Horník, M., Hřeková, K., Gubis, J., Jakubcová, A., Hudcovicová, M., Ondreičková, K. (2020), Sewage Sludge as a Soil Amendment for Growing Biomass Plant *Arundodonax* L., *Agronomy*, 10 (5): 678.
5. Bajbekov, R.F., Merzlaya, G.E., Vlasova, O.A. (2017), Productivity of agricultural crops when using fertilizers from organic waste on sod-podzolic soils, *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, no. 9, pp. 29–33. (In Russ.)
6. Zhigareva, Yu.V. (2018), Evaluation of the effectiveness of the use of sewage sludge in potato cultivation, *Vestnik AGU*, no. 1 (212), pp.117–122. (In Russ.)
7. Ksenofontov, B.S. (2020), Disposal of sewage sludge by composting with peat, *Ecology of industrial production*, no. 2 (110), pp. 20–24. (In Russ.)
8. Lamastra, L., Suci, N.A., Trevisan, M. (2018), Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer, *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, vol. 5, Article number: 10, DOI: 10.1186/s40538-018-0122-3.
9. Varlamova, L.D., Korolenko, I.D. (2017), Non-traditional fertilizing materials in the crop production complex of Russia and the Nizhny Novgorod region, *Agrohimicheskij vestnik*, no. 2, pp.15–20. (In Russ.)
10. Bryndina, L.V., Baklanova, O.V. (2019), Influence of biologically purified sewage sludge on the growth and development of ornamental plants, *Lesotekhnicheskij zhurnal*, no. 1(33), pp. 23–30. (In Russ.)
11. Bereznyov, A. P., Tomina, A. P., Sidel'nikov, N. A. (2018), The effectiveness of the use of various doses of sewage sludge for perennial grasses used in urban landscaping, *Zemledelie*, no. 3, pp. 31– 33. doi: 10.24411/0044-3913-201810307. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Ирина Владимировна Ельшаева** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Л.Н. Александровой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код:4904-7863, Scopus authorID: 57221476016.

**Елена Владимировна Воропаева** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры естествознания и географии, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Ленинградской области «Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина», spin-код: 1002-0287, Scopus author ID: 57196246011.

**Анна Сергеевна Пинаева** – аспирант кафедры почвоведения и агрохимии Л.Н. Александровой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код:7230-1429, Scopus author ID: 57221461546, Researcher ID:AGA-8652-2022.

**Information about the authors**

**Irina V. Elshaeva** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 4904-7863, Scopus author ID: 57221476016.

**Elena V. Voropaeva** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Geography, State Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Leningrad Region "Leningrad State University named after A.S. Pushkin", spin-code: 1002-0287, Scopus author ID: 57196246011.

**Anna S. Pinaeva** – postgraduate student of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7230-1429, Scopus author ID: 57221461546, Researcher ID: AGA-8652-2022

**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 21.11.2023; одобрена после рецензирования 16.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 21.11.2023; approved after reviewing 16.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК: 636.1.085.54

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-69-78

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ ПОЕДАНИЯ ЛОШАДЬМИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

Ольга Геннадьевна Шараськина<sup>1</sup>, Татьяна Николаевна Головина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,  
ул. Черниговская, д. 5, Санкт-Петербург, 196084, Российская Федерация, xmause@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
г. Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация, konikurs@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-3806-3328>

**Реферат.** Время, затрачиваемое на пережевывание корма, важно не только с точки зрения качества его измельчения для улучшения последующего переваривания, но и в связи с тем, что нормальное слюноотделение у лошадей происходит только во время жевания, и чем дольше лошадь пережевывает корм, тем больше выделяется слюны. Это время имеет значение также для отдельных групп лошадей, которым необходимо максимально сократить или ограничить его, например, по ветеринарным показаниям. Цель исследования – определить факторы, влияющие на скорость потребления сухого вещества (СВ) концентрированных кормов, которые используются в рационах лошадей. Для этого учитывали время поедания концентрированных кормов разного вида и форм подготовки к скармливанию у лошадей (n = 80) разного пола, возраста, в утреннее, дневное и вечернее кормление, с разной массой разовой порции. Были проведены множественные сравнения и определена корреляция между скоростью поедания и различными факторами. В результате исследований установлено, что скорость потребления СВ корма не зависит от пола лошади, а также от времени кормления. Положительная корреляция определена по показателям «размер порции (кг) – скорость поедания (кг СВ/мин)». Чем больше размер порции корма, тем выше скорость поедания порции. Скорость потребления кормов в виде каши была достоверно выше на 30%, чем у кормов естественной влажности всех видов. Достоверных различий по скорости полного поедания зерновых концентратов, гранул и мюсли не выявлено. Влияние возраста на скорость полного поедания СВ корма не подтвердилось, но есть тенденция к снижению скорости поедания сухих (естественной влажности) кормов с возрастом, особенно у лошадей после 15 лет.

**Ключевые слова:** кормление лошадей, скорость полного поедания, время потребления корма, концентраты, гранулы, мюсли

**Цитирование.** Шараськина О.Г., Головина Т.Н. Факторы, влияющие на скорость поедания лошадьми концентрированных кормов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(70). – С. 69–78.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-69-78

## FACTORS AFFECTING THE RATE OF CONCENTRATED FEED EATING BY HORSES

Olga G. Sharaskina<sup>1</sup>, Tatyana N. Golovina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya st., 5, St. Petersburg, 196084, Russia; xmause@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Petersburgskoye shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; konikurs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3806-3328>

**Abstract.** The time spent chewing the feed is important not only in terms of the quality of its grinding to improve subsequent digestion, but also due to the fact that normal salivation in horses occurs only during chewing. The longer feed intake time (FIT) means the more saliva is released. This time is also important for certain groups of horses who need to minimize or limit FIT as much as possible, for example, for veterinary indications. The aim of the study is to determine the factors influencing the rate of consumption of dry matter (DM) of concentrated feeds that are used in horse diets. To do this, we took into account the time of eating concentrated feeds of various types and forms of preparation for feeding in horses (n = 80) of different sex, age, in the morning, afternoon and evening feeding, with different masses of a single portion. Multiple comparisons were made and correlations between eating speed and various factors were determined. As a result of the research, it was found that the rate of consumption of DM feed does not depend on the sex of the horse, as well as on the time of feeding. A positive correlation was determined by the indicators "serving size (kg) – eating rate (kg DM / min)". The larger the portion size of the feed, the higher the rate of eating of the portion. The rate of consumption of feed in the form of porridge was significantly higher by 30% than that of all types of natural moisture feed. There were no significant differences in the rate of complete eating of grain concentrates, granules and muesli. The influence of age on the rate of complete consumption of DM food has not been confirmed, but there is a tendency to decrease the rate of consumption of dry (natural moisture) feed with age, especially in horses after 15 years of age.

**Keywords:** *feeding horses, full eating rate, feed consumption time, concentrates, granules, muesli*

**Citation.** Sharaskina, O.G., Golovina, T.N. (2023), Factors affecting the rate of concentrated feed eating by horses, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 69–78. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-69-78

**Введение.** Лошади – травоядные животные, которые приспособлены к поеданию большого количества грубых растительных кормов. При круглосуточном содержании лошадей на пастбище, т. е. в наиболее естественной для них среде, 50–80% времени они тратят на потребление корма [1]. Есть данные, свидетельствующие о том, что в среднем на пастбище средних размеров лошадь совершает более 50 000 жевательных движений в день [2]. Движения челюстей при поедании травы относительно широкие и длинные, в условиях конюшенного содержания и поедании сена и концентрированных кормов движения ограничены и изменяется количество жевательных движений челюсти на каждый килограмм сухого вещества корма. Так, количество жевательных движений для грубых кормов значительно больше (на 1 кг длинного сена требуется от 3000 до 3500 движений), чем для концентратов (от 800 до 1200 движений на 1 кг) [3]. При этом количество жевательных движений, совершаемых за минуту, при потреблении разных видов кормов почти не изменяется [3; 4]. Таким образом, время, затрачиваемое на потребление единицы сухого вещества определенного вида корма (сена, зерновых концентратов и др.), можно использовать

как показатель оценки эффективности пережевывания, без учета количества жевательных движений.

Время пережевывания корма важно не только с точки зрения качества его измельчения для улучшения последующего переваривания, но и в связи с тем, что нормальное слюноотделение у лошадей происходит только во время жевания [3; 5]. Чем дольше пережевывается корм, тем больше слюны вырабатывается и смешивается с ним, что имеет большое значение как для формирования пищевого кома и его легкого прохождения по пищеводу, так и для нормального пищеварения в желудке, так как слюна выполняет роль буфера, снижая кислотность в его проксимальной части [3]. Сокращение времени потребления порции корма, и, как следствие, сокращение количества жевательных движений [4] и секреции слюны может привести к снижению эффективности переваривания корма. А при использовании больших порций зерновых концентратов это может способствовать развитию заболеваний желудочно-кишечного тракта [6; 7].

Время, затрачиваемое на потребление корма, может также иметь значение для отдельных групп лошадей, которым необходимо максимально сократить или ограничить его, например, по ветеринарным показаниям. И если различия во времени потребления сухого вещества корма различных групп кормов (грубые, концентрированные, зеленые) очевидны, то различия и факторы, влияющие на скорость потребления отдельных видов кормов внутри этих групп, не в полной мере определены. Имеются данные о различиях в скорости потребления концентратов у полукровных лошадей и пони, у которых она оказалась значительно меньше [3; 4]. В исследованиях Argo C. и соавт. (2002) и Brøkner C. и соавт. (2008) установлено, что на поедание кормов в виде мюсли тратится достоверно больше времени, чем на овес и гранулированные корма, но в исследованиях Bochnia M. и соавт. (2017) достоверные различия между этими кормами не подтвердились, да и значения скорости потребления сильно отличались от результатов Brøkner C. и соавт. (2008) [3]. Считаем, что всё это указывает на недостаточную изученность вопроса и требует дополнительных исследований для определения и оценки факторов, влияющих на скорость потребления концентрированных кормов, для более эффективной организации кормления лошадей.

**Целью исследования** является определение факторов, влияющих на скорость потребления сухого вещества (СВ) концентрированных кормов, используемых в рационах лошадей.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Объектом исследования стали лошади различного возраста (молодые, взрослые, старые), верховых чистокровных, полукровных, рысистых и тяжеловозных пород ( $n = 80$ ), используемые в разных дисциплинах конного спорта и в конном прокате, а также лошади-пенсионеры.

Всё исследуемое поголовье содержалось в конюшнях с размещением в индивидуальных денниках, получало концентрированные корма различного вида и формы дачи в строго нормированных количествах в индивидуальные кормушки. Одни и те же лошади в разные кормления могли получать корма разного вида и разной формы дачи. Порции корма взвешивались перед скармливанием с точностью до  $\pm 10$  г. Учет времени, затрачиваемого лошастью на полное поедание порции концентрированного корма (с момента начала поедания корма и до момента, когда лошадь отходила от кормушки или переключалась на сено) утром, днем и вечером, проводили с помощью электронного секундомера.



Скорость потребления корма определяли с учетом пола, возраста (младше 3 лет; с 3 до 10 лет; с 11 до 15 лет; старше 15 лет), времени кормления (завтрак, обед, ужин), вида корма (цельное зерно, гранулированные комбикорма ( $D = 0,4-0,5$  см), мюсли / хлопья), формы дачи корма (сухой / естественной влажности, каша), наличия дополнительно введенных кормовых добавок. Степень и направленность изучаемых факторов определяли по коэффициентам корреляции (возраст и вид корма; возраст и форма дачи; возраст и скорость поедания; вид корма и скорость поедания; форма дачи и скорость поедания; размер порции и скорость поедания). Учитывали общую продолжительность потребления порции корма, скорость потребления сухого вещества (СВ) корма за единицу времени (г/мин) и время, затраченное на полное поедание 1 кг СВ. Проводили множественное перекрестное сравнение полученных результатов внутри и между группами, сформированными по различным признакам: например, оценивали скорость поедания кормов одних и тех же видов и формы дачи в разное время суток, далее сравнивали значения с учетом группировки по возрасту, затем – с учетом количества корма в порции, и так по каждому оцениваемому критерию, и выявляли взаимосвязи между скоростью поедания корма и различными факторами.

Статистическую обработку проводили с помощью критерия множественного сравнения Краскала – Уоллиса, в программе StatSoft 13 (statsoft.ru). Данные представлены как среднее значение ( $M$ )  $\pm$  стандартное отклонение ( $SD$ ), а статистическая значимость – при  $P \leq 0,05$ .

**Результаты исследования.** В результате проведенного исследования установлено, что скорость полного поедания концентрированных кормов не имела достоверных различий у представителей разного пола, а также не зависела от времени кормления. Введение в корма дополнительных кормовых добавок (без учета их состава и формы) также достоверно не влияло на скорость потребления корма. Это позволило нам оценивать скорость поедания СВ корма без учета показателей пола лошадей, времени кормления и не учитывать наличие или отсутствие дополнительно вводимых добавок в корма. В ходе исследования результаты 3 лошадей были исключены из обработки, так как скорость потребления концентрированных кормов у них очень сильно отличалась от средних значений по группам – была очень низкой, одна порция корма проедалась в течение 1–2 часов или после начала потребления, через 3–5 мин. наблюдался отказ от корма. По итогам ветеринарного обследования у 2 лошадей была диагностирована язва желудка, а еще у одной обнаружили серьезные проблемы с зубной системой.

При оценке коэффициента корреляции между показателями возраста и скорости поедания корма, а также размера порции и скорости были установлены достоверные положительные взаимосвязи. Так, при оценке «возраст (лет) – скорость поедания (кг СВ/мин)»  $r = 0,36$ . Но при этом оценка данных показателей при разбивке лошадей на возрастные группы, внутри групп однозначную положительную корреляцию по данным показателям не подтвердила. Так, были получены достоверные данные о положительной корреляции между размером порции корма со скоростью поедания только в группах лошадей «с 3 до 10 лет» ( $r = 0,63$ ) и «старше 15 лет» ( $r = 0,73$ ). При этом в других возрастных группах достоверного подтверждения положительной корреляции не наблюдалось.

Дальнейший анализ показал, что существует зависимость между возрастом лошадей и тем, в каком виде скармливались концентрированные корма в разных возрастных группах ( $r = 0,039$ ). Так, лошадям до 10-летнего возраста концентраты скармливали преимущественно в

виде мюсли или плющенного зерна (хлопья), в сухом виде; с 11 до 15 лет – примерно в равной степени использовали цельное сухое зерно или мюсли и кашу; лошади старше 15 лет – чаще всего получали корма в виде каши. Анализ взаимосвязи скорости потребления корма с возрастом с учетом формы дачи кормов – сухие или в виде каши – не подтвердил определенную ранее положительную корреляцию «возраст – скорость полного поедания», но показал тренд на отрицательную корреляцию при использовании сухих (естественной влажности) кормов (рисунок).

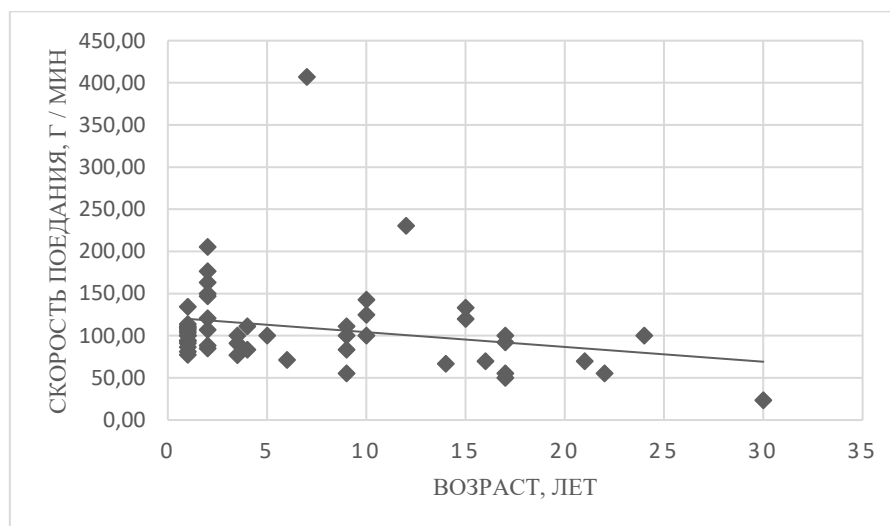


Рисунок. Скорость поедания сухих (естественная влажность) кормов  
 Figure. Speed of consumption of dry (natural moisture) feed

Положительная корреляция выявлена по показателям «размер порции (кг) – скорость поедания (кг СВ/мин)»  $r = 0,58$ . Скорость поедания больших порций увеличивалась по мере увеличения размеров (кг СВ) порции корма.

У лошадей вне зависимости от возраста наблюдались достоверные различия в скорости полного поедания кормов с учетом их формы дачи (табл.), при этом не выявлено достоверных различий зависимости скорости потребления от состава корма.

Таблица. Скорость поедания разных видов и форм подготовки к скармливанию концентрированных кормов, мин. (M±SD)

Table. Speed of consumption of different types and forms of preparation for feeding of concentrates, min. (M±SD)

Вид корма	n, гол	Размер порции, кг СВ	Скорость поедания 1 кг СВ, мин
Зерно (естеств. влаж.)	12	1,20±0,30	9,17±1,52 <sup>a</sup>
Мюсли/хлопья (естеств. влажн.)	40	1,21±0,61	9,84±2,76 <sup>b</sup>
Гранулы (естеств. влаж.)	12	1,15±0,35	9,20±0,79 <sup>c</sup>
Каша	36	1,48±0,81	6,48±1,32 <sup>abc</sup>

Примечание: <sup>abc</sup> –  $p < 0,05$

Из таблицы видно, что средний размер порции разных кормов не имел достоверных различий, а следовательно, не мог существенно влиять на скорость потребления корма (учитывая данные о положительной корреляции, установленной ранее). Оценка скорости поедания сухих кормов разных видов не выявила достоверных различий и значение в среднем оказалось в диапазоне 9–10 мин на 1 кг СВ. Скорость потребления кормов в виде каши была достоверно выше, чем у всех видов кормов естественной влажности, и составила в среднем 6,5 мин на 1 кг СВ корма, т. е. была примерно на 30% выше. При этом скорость потребления не зависела от компонентного состава каши.

Проведенные нами исследования показали, что скорость потребления СВ корма не зависит от пола лошади, а также от времени кормления. Введение в корма дополнительных кормовых добавок (премиксов, БАДов), если они вводятся не впервые и хорошо смешиваются с основным кормом, также не влияет на скорость потребления кормов.

Зависимость скорости потребления корма от возраста оказалась неоднозначной. Деление на возрастные группы осуществляли в том числе с учетом особенностей развития зубной системы и физиологического развития с учетом рабочего использования. То есть в группе лошадей до 3 лет оказались молодняк с молочными зубами и те, у кого смена зубов только началась; группа с 3 до 10 лет включала в себя лошадей в период завершения интенсивного роста, проходящих этапы физического развития и формирования взрослой лошади. Так как существенных различий в показателях скорости потребления кормов между группами лошадей от 3 до 5 лет (смена молочных зубов) и от 5 до 10 лет (все зубы постоянные) не было выявлено, то их решено было объединить в одну группу. Возраст от 11 до 15 лет – это расцвет физических способностей лошади, наиболее продуктивный с точки зрения спортивного и хозяйственного использования. Лошади старше 15-летнего возраста – это начало снижения физических возможностей организма, изменения зубной системы, которые могут влиять на процессы потребления кормов. С одной стороны, была выявлена положительная корреляция «возраст – скорость поедания», т. е. чем старше животное, тем выше скорость поедания СВ корма. Но, с другой стороны, сравнительный анализ частоты использования различных форм дачи (сухие, каша) кормов в разных возрастных группах показал, что в группах до 10 лет в основном используются сухие (естественной влажности) корма, начиная с 11 лет доля кормов, скармливаемых в виде каши, возрастает, а с 15-летнего возраста каши были основной формой дачи. Отсутствие положительной корреляции с возрастом также подтвердилось при оценке «скорость – возраст» с учетом формы дачи корма, где при использовании сухих кормов, напротив, наметился отрицательный тренд, т. е. с возрастом отмечено незначительное снижение скорости поедания. Но в целом полученные результаты указывают на то, что возраст не имеет существенного влияния на скорость потребления концентрированных кормов.

Наличие положительной корреляции между размерами порции концентрированных кормов и скоростью их полного поедания в нашем исследовании подтверждается исследованиями, проведенными М. Wochnia и соавт. (2019). В своих исследованиях они отметили, что при потреблении гранулированных кормов (диаметр гранулы 5 мм), скорость потребления 2-килограммовой и 1,5-килограммовой порции оказалась достоверно выше, чем 1-килограммовой порции. Однако на гранулах большего размера ( $D=15\text{мм}$ ) данная тенденция не подтвердилась [7].

В нашем исследовании положительная корреляция между размером порции и скоростью поглощения корма выявлена как для каш, так и для сухих кормов. То, что при рассмотрении данного показателя в разных возрастных группах достоверный результат был выявлен только у лошадей «с 3 до 10 лет» и «старше 15 лет», вероятно, связано с тем, что в данных группах наблюдался наибольший разброс по массе единовременной порции корма и данные группы были наиболее представительными по численному составу.

В нашем исследовании видовой состав кормов существенно не влиял на скорость их потребления. Форма дачи имела достоверную существенную разницу только при сравнении кормов естественной влажности вне зависимости от их формы (зерно, мюсли/хлопья, гранулы) с кормами в виде каши. На потребление СВ кормов в виде каши лошади тратят в среднем на 30% меньше времени, в то время как значимых различий между скоростью потребления СВ кормов в цельнозерновом, гранулированном или плющенном (мюсли, хлопья) виде не выявлено. Незначительная тенденция к снижению скорости потребления относительно гранул и цельного зерна наблюдалась у мюсли, но она не нашла статистического подтверждения.

Полученные нами результаты имеют практическое значение при организации кормления лошадей. Учитывая, что слюна, выделяемая только в процессе пережевывания корма, играет важную роль в желудочном пищеварении [3] и снижает вероятность появления язв в безжелезистой части желудка [9], увеличение времени потребления (пережевывания) корма является крайне желательным. В этой связи использование сухих (естественной влажности) кормов является предпочтительным, независимо от формы их введения – цельнозерновой, гранулированной или в виде хлопьев (мюсли / плющенное зерно).

Использование кормов в виде каши, с одной стороны, позволяет сократить время кормления почти на треть и снизить затраты энергии лошади (например, после изнурительной работы или болезни) на потребление корма, но, с другой стороны, повышает риск формирования изъязвлений безжелезистой части из-за недостаточного количества слюны в результате сокращения времени на пережевывание корма, а также вследствие использования уже увлажненного корма, на который слюны вырабатывается меньше [10]. Еще одной проблемой использования кормов в виде каши становится недостаточное пережевывание компонентов корма, особенно если для её приготовления используется цельное зерно. В нашем исследовании в кале лошадей, получавших кашу, состоящую из цельного овса и отрубей, даже при поверхностном осмотре обнаруживали цельные, непережеванные зерна овса. Таким образом, можно сделать вывод, что в тех случаях, когда использование концентратов в виде каши является необходимостью, желательно применять такие компоненты корма, которые будут легко перевариваться и усваиваться даже без тщательной механической обработки в процессе жевания – например, вводить плющенные, дробленные, экструдированные или микронизированные зерновые. Для того чтобы компенсировать недостаток буферных свойств слюны из-за сокращения её выделения при потреблении каш, можно использовать концентраты в смеси с кормами и добавками, не стимулирующими активное выделение пищеварительных соков или имеющими буферные свойства (например, люцерновая травяная мука или сечка [11; 12]).

Положительная корреляция между скоростью потребления СВ корма и размером порции еще раз подтверждает необходимость организовывать кормление концентратами небольшими порциями и с увеличенной кратностью. Основным ограничением размера разовой порции зернового концентрированного корма для лошади на сегодняшний день

является предельная норма содержания крахмала, определяемая как 200 г крахмала на 100 кг живой массы на одно кормление [7], а для профилактики язвы желудка это количество рекомендуют сокращать до 100 г / 100 кг живой массы / кормление [6]. Увеличение времени на полное поедание порции концентрированного корма при сокращении объема порции является дополнительным стимулом для сокращения массы разовой дачи концентратов.

Считаем, что отсутствие достоверных различий в скорости потребления гранулированных и плющенных (мюсли, хлопья) кормов должно учитываться при выборе комбикорма, чтобы акцентировать внимание не на форме его производства (мюсли или гранулы), а прежде всего на составе.

### **Выводы**

1. Скорость потребления СВ корма не зависит от пола лошади, а также от времени кормления.

2. Возраст лошадей не имеет существенного влияния на скорость потребления концентрированных кормов.

3. Выявлена положительная корреляция между размерами порции концентрированных кормов и скоростью их полного поедания.

4. Использование сухих (естественной влажности) кормов является предпочтительным, независимо от формы их введения – цельнозерновой, гранулированной или в виде хлопьев (мюсли/плющенное зерно).

5. При использовании концентратов в виде каши желательно вводить компоненты корма, которые будут легко перевариваться и усваиваться даже без тщательной механической обработки (плющенные, дробленые, экструдированные или микронизированные зерновые).

6. Необходимо организовывать кормление концентратами небольшими порциями и с увеличенной кратностью.

### **Список источников литературы**

1. Hesta, M. How Can Nutrition Help with Gastrointestinal Tract-Based Issues? / M. Hesta, M. Costa // The Veterinary clinics of North America. Equine practice. – 2021. – 37(1). – P. 63–87. – doi.org/10.1016/j.cveq.2020.12.007
2. Frappe, D. Equine Nutrition and Feeding. 4th ed./ D. Frappe. – Wiley, 2013. – URL: <https://www.perlego.com/book/1008516/equine-nutrition-and-feeding-pdf> (accessed: 14 October 2022).
3. Feed intake patterns of sport ponies and warmblood horses following iso-energetic intake of pelleted fibre-rich mixed feed, muesli feed and semicrushed oat grains / M. Bochnia, M. Boesel, L. Bahrenthien, M. Wensch-Dorendorf and A. Zeyner // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2017. – Vol. 101 (Suppl. 1). – P. 37–42.
4. Ковзов, В. В. Физиологические особенности лошадей: практическое пособие / В. В. Ковзов. – Витебск: Учреждение образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины". – 2018. – 176 с. – ISBN 978-985-591-053-5.
5. Occurrence of gastric ulcers in horses exercised on a treadmill / G. Ribeiro, L. Silva, C. Belli, L. Vargas, M. Piffer, M. Mirian, V. Feijó and F. Roberto. – 2016. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/299357906\\_Occurrence\\_of\\_gastric\\_ulcers\\_in\\_horses\\_exercised\\_on\\_a\\_treadmill](https://www.researchgate.net/publication/299357906_Occurrence_of_gastric_ulcers_in_horses_exercised_on_a_treadmill) (accessed: 10.05.2022).
6. Thorringer, N. W. The effects of processing barley and maize on metabolic and digestive responses in horses / N. W. Thorringer, M. R. Weisberg, R. B. Jensen // Journal of animal science. – 2020. – 98 (12). – skaa353. doi.org/10.1093/jas/skaa353.
7. Chewing patterns in horses during the intake of variable quantities of two pelleted compound feeds differing in their physical characteristics only / M. Bochnia, F. Goetz, M. Wensch-Dorendorf,

- M. Koelln, A. Zeyner // *Research in Veterinary Science*. – 2019. – Vol. 125. – P. 189–194. – doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.06.014.
8. Dryden, G. *Fundamentals of applied animal nutrition* / G. Dryden. – CAB International. – Wallingford, UK, 2021.
  9. Скопичев, В.Г. Частная физиология. Кн. 2. Физиология продуктивных животных / В.Г. Скопичев, В.И. Яковлев. – Санкт-Петербург: ООО «Квадро», 2020. – 554 с. – ISBN 978-5-906371-72-6.
  10. Gut health of horses: effects of high fibre vs high starch diet on histological and morphometrical parameters / E. Colombino, F. Raspa, M. Perotti, D. Bergero, I. Vervuert, E. Valle, M. T. Capucchio, // *BMC veterinary research*. – 2022. – 18 (1): 338. –doi.org/10.1186/s12917-022-03433-y.
  11. Cereal starch, protein, and fatty acid pre-caecal disappearance is affected by both feed technological treatment and efficiency of the chewing action in horses / L. Hymøller, M. Schødt Dickow, C. Brøkner, D. Austbø, S. Krogh Jensen // *Livestock Science*. – 2012. – Vol. 150. – Is. 1–3. – P. 159–169. – ISSN 1871-1413, doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.016.
  12. Vondran, S. Effects of two alfalfa preparations with different particle sizes on the gastric mucosa in weanlings: alfalfa chaff versus alfalfa pellets / S. Vondran, M. Venner, I. Vervuert // *BMC veterinary research*. – 2016. – 12(1): 110. – doi.org/10.1186/s12917-016-0733-5.

### References

1. Hesta, M., Costa, M. (2021), “How Can Nutrition Help with Gastrointestinal Tract-Based Issues?”, *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*, 37(1), pp. 63–87, doi.org/10.1016/j.cveq.2020.12.007.
2. Frape, D. (2013), *Equine Nutrition and Feeding*, 4th edn., Wiley, available at: <https://www.perlego.com/book/1008516/equine-nutrition-and-feeding-pdf> (accessed: 14 October 2022).
3. Bochnia, M., Boesel, M., Bahrenthien, L., Wensch-Dorendorf M. and Zeyner A. (2017), “Feed intake patterns of sport ponies and warmblood horses following iso-energetic intake of pelleted fibre-rich mixed feed, muesli feed and semicrushed oat grains”, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 101 (Suppl. 1), pp. 37–42.
4. Kovzov, V.V. (2018), *Physiological features of horses: a practical guide*, Vitebsk, Educational institution "Vitebsk Order "Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine", 176 p., ISBN 978-985-591-053-5. (in Russ.)
5. Ribeiro, G., Silva, L., Belli, C., Vargas, L., Piffer, M., Mirian, M., Feijó, V. and Roberto, F. (2016), *Occurrence of gastric ulcers in horses exercised on a treadmill*, available at: [https://www.researchgate.net/publication/299357906\\_Occurrence\\_of\\_gastric\\_ulcers\\_in\\_horses\\_exercised\\_on\\_a\\_treadmill](https://www.researchgate.net/publication/299357906_Occurrence_of_gastric_ulcers_in_horses_exercised_on_a_treadmill) (accessed: 10.05.2022).
6. Thorringer, N. W., Weisberg, M. R., and Jensen, R. B. (2020). “The effects of processing barley and maize on metabolic and digestive responses in horses”, *Journal of animal science*, no. 98 (12), skaa353, doi.org/10.1093/jas/skaa353.
7. Bochnia, M., Goetz, F., Wensch-Dorendorf, M., Koelln, M. and Zeyner, A. (2019), “Chewing patterns in horses during the intake of variable quantities of two pelleted compound feeds differing in their physical characteristics only”, *Research in Veterinary Science*, vol. 125, pp. 189–194, doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.06.014.
8. Dryden, G. (2021), *Fundamentals of applied animal nutrition*, CAB International, Wallingford. UK.
9. Skopichev, V.G., Yakovlev, V.I. (2020), *Private physiology, Book 2. Physiology of productive animals*, ООО "Quadro", 554 p., ISBN 978-5-906371-72-6. (in Russ.)
10. Colombino, E., Raspa, F., Perotti, M., Bergero, D., Vervuert, I., Valle, E., & Capucchio, M. T. (2022), “Gut health of horses: effects of high fibre vs high starch diet on histological and morphometrical parameters”, *BMC veterinary research*, 18 (1): 338, doi.org/10.1186/s12917-022-03433-y.
11. Hymøller, L, Schødt Dickow, M., Brøkner C., Austbø D. and Krogh Jensen, S. (2012), “Cereal starch, protein, and fatty acid pre-caecal disappearance is affected by both feed technological treatment and efficiency of the chewing action in horses”, *Livestock Science*, vol.150, is. 1–3, pp. 159–169, ISSN 1871-1413, doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.016.
12. Vondran, S., Venner, M., & Vervuert, I. (2016), “Effects of two alfalfa preparations with different particle sizes on the gastric mucosa in weanlings: alfalfa chaff versus alfalfa pellets”, *BMC veterinary research*, 12(1), 110, doi.org/10.1186/s12917-016-0733-5.

### Сведения об авторах

**Шараскина Ольга Геннадьевна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарной генетики и животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», spin-код: 8533-1419

**Головина Татьяна Николаевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой модернизации технологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2969-2080

### Information about the authors

**Olga G. Sharaskina** – Candidate of biological Sciences, associate Professor Department of Veterinary Genetics and Animal Husbandry, Federal state budgetary educational institution of higher education "Saint Petersburg state University of veterinary medicine", spin-code: 8533-1419

**Tatyana N. Golovina** – Candidate of agricultural Sciences, associate Professor, Department of Technology Modernization in Agriculture, Federal state budgetary educational institution of higher education "Saint Petersburg state agrarian University", spin-code: 2969-2080

**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 02.12.2022; одобрена после рецензирования 15.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 02.12.2022; approved after reviewing 15.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 637.4

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-79-88

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА КУР-НЕСУШЕК КРОССА HY-LINE BROWN НА КАЧЕСТВО ЯИЦ

Людмила Трофимовна Васильева<sup>1</sup>, Александр Георгиевич Бычаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ludamila51@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7941-7786>

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; e-mail: bitl31@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8073-7421>

**Реферат.** С возрастом птицы изменяется не только продуктивность кур, но и качество получаемых от них яиц. Целью исследования явилось изучение влияния возраста (18, 28, 48, 64, 85 недель) кур кросса Hy-Line Brown на товарные и морфо-биофизические качества их яиц. В процессе работы выявлено отсутствие яиц массой 72 г и выше, а также минимальное количество яиц с поврежденной скорлупой у 18-недельной птицы; затем количество крупных яиц увеличивается, но остается примерно одинаковым до 64-недельного возраста кур. Далее происходит рост количества яиц категорий СВ и СО, а также возрастает в 1,5–2 раза доля яиц с поврежденной скорлупой. Выявлены прямая положительная зависимость массы яиц, доли желтка и его пигментации в них с возрастом и отрицательная зависимость относительной массы белка, его индекса и единиц Хау, а также индекса желтка в исследуемых яйцах. В результате исследований установлена достоверная отрицательная зависимость качества скорлупы (прочности, упругой деформации, мраморности и пигментации) и возраста кур. Так, мраморность скорлупы понизилась почти на балл в процессе эксплуатации птицы. С возрастом кур на 47% снизилась прочность скорлупы. Отношение массы белка к массе желтка с 3,41 у яиц, полученных от самой молодой птицы, достоверно снижалось и у 85-недельных кур достигло 2,32, т. е. яйца кур с возрастом приобретали более высокую питательность. Подвижность белка и его относительная масса, а также толщина скорлупы с возрастом связаны криволинейной зависимостью. Наиболее плотный белок оказался у яиц кур в 48 недель, но далее была замечена тенденция снижения его плотности, однако он оставался в яйцах более плотным по сравнению с первыми 28 неделями жизни кур.

**Ключевые слова:** возраст кур, морфо-биофизические и товарные качества яиц

**Цитирование.** Васильева Л.Т., Бычаев А.Г. Влияние возраста кур-несушек кросса Hy-Line Brown на качество яиц // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С.79–88. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-79-88

## INFLUENCE OF AGE OF HY-LINE BROWN LAYER HENS ON EGG QUALITY

**Lyudmila T. Vasilyeva<sup>1</sup>, Alexander G. Bychaev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia; ludamila51@mail.ru ;<http://orcid.org/0000-0002-7941-7786>

<sup>2</sup> Sankt-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; e-mail: bitl31@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8073-7421>



**Abstract.** With the age of the bird, not only the productivity of chickens changes, but also the quality of the eggs got from them. The aim of the study was to study the influence of age (18, 28, 48, 64, 85 weeks) chickens of the Hy-Line Brown cross on the commodity and morpho-biophysical qualities of their eggs. In the course of the study, the absence of eggs weighing 72 g or more and the minimum number of eggs with damaged shells in 18-week-old birds were found; then the number of large eggs increased, but remained approximately the same until the age of 64-week-old hens. Further, there is an increase in the number of eggs of CB and CO categories and the proportion of eggs with damaged shells increases by 1.5 – 2 times. A direct positive dependence of egg mass, the proportion of yolk and its pigmentation with age and a negative dependence of the relative mass of the protein, its index and the Haugh units, as well as the yolk index in the eggs under study were revealed. Studies have established a significant negative relationship between the quality of the shell (strength, elastic deformation, marbling and pigmentation) and the age of chickens. Thus, the marbling of the shell decreased by almost a point during the operation of the bird. With the age of chickens by 47% the strength of the shell has decreased. The ratio of protein mass to yolk mass from 3.41 in eggs obtained from the youngest bird significantly decreased and reached 2.32 in 85-week-old hens, i.e., hen eggs acquired higher nutritional value with age. The mobility of the protein and its relative mass, as well as the thickness of the shell, are related with age by a curvilinear dependence. The densest protein was found in eggs of hens at 48 weeks, but then a tendency to decrease in its density was noticed it remained denser in eggs compared to the first 28 weeks of hens' life.

**Keywords:** *age of chickens, morpho-biophysical and commercial qualities of eggs*

**Citation.** Vasilyeva, L.T., Vychaev, A.G. (2023), Influence of age of Hy-Line Brown layer hens on egg quality, *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 79–88. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-79-88

**Введение.** Успехи в области селекции и кормления птицы не только подняли на небывалую высоту яйценоскость птицы, но и значительно увеличили длительность ее продуктивной эксплуатации в хозяйстве [1–5]. Появление современных яичных кроссов с продолжительным сроком использования, с одной стороны, приводит к снижению затрат кормов и электроэнергии, получению более крупных яиц и т. д., а с другой – к изменениям в организме птицы и качестве яиц [4–8]. Резкое увеличение яйценоскости и массы яиц, безусловно, сказалось на их качестве, определяемом не только кормлением и условиями содержания, но и, прежде всего, физиологией птицы, ее возрастом [9–11]. Поэтому изучение качества яиц при продолжительном использовании птицы и определение влияния ее возраста на них не только актуально, но и имеет большое практическое значение в установлении оптимальных сроков ее эксплуатации в условиях каждого хозяйства и оптимизации кормления кур для получения качественной яичной продукции [2; 6; 9; 11].

**Цель исследования** – изучить влияние возраста кур кросса Hy-Line Brown на товарные и морфо-биофизические качества пищевых яиц.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Работа проведена в лаборатории кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко СПбГАУ и в цехе сортировки и упаковки яиц одной из птицефабрик Северо-Запада. Оценка товарных качеств яиц производилась в день снесения, а на следующие сутки определялись морфо-биофизические качества яиц, взятых на исследование методом случайной выборки.

В исследованиях определялись товарные и морфо-биофизические качества яиц у кур на разных возрастных этапах физиологического состояния птицы: 18 нед. (начало яйценоскости), 28 нед. (наращивание продуктивности и «выход» на пик яйценоскости), 48 нед. (сохранение продуктивности птицы на уровне 80%), 64 нед. (начало заметного снижения продуктивности) и 85 нед. (окончание продуктивного периода птицы).

Кормление и содержание кур-несушек отвечало нормативам, указанным фирмой – создателем кросса. Материал и методики исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Материал и методики исследования**  
Table 1. **Research material and methods**

Место проведения исследования	Возраст кур, нед.	Число яиц	Изучаемые показатели	Методики и приборы
Цель этапа исследования: изучение влияния возраста кур на морфо-биофизические качества яиц				
Лаборатория кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко	18	30	Масса яиц, белка, желтка и скорлупы (г, %); плотность яиц (г/см <sup>3</sup> ); индекс формы яиц (%); упругая деформация скорлупы (мкм) и ее прочность (у.ед.); подвижность фракций белка (град), пигментация (балл) и мраморность (балл) скорлупы; индекс белка и желтка (%); пигментация желтка (балл); толщина скорлупы (мкм); отношение массы белка к массе желтка	Использовались методики, разработанные на кафедре птицеводства и мелкого животноводства СПбГАУ и методики ВНИТИП.  Приборы: весы (ВК-600), устройство для определения массы яиц в дистиллированной воде, штангенциркуль, упругомер (ПУД 1), индексомер (ИМ-1), прибор для определения подвижности фракций белка (ППФ-1), высотомер линейный (ВЛ-1), шкала Роше, прибор для определения прочности скорлупы (ПСУ-1) и прибор для определения толщины скорлупы (ТС-1), овоскоп
	28	30		
	48	30		
	64	30		
	85	60		
Цель этапа исследования: определение возрастной динамики товарных категорий яиц				
Цех сортировки и упаковки яиц птицефабрики	18	49673	Масса яиц, качество скорлупы яиц	ГОСТ 31654–2012 Яйца куриные пищевые. Технические условия.  Яйцесортировальная машина Omnia PX-700
	28	83394		
	48	75358		
	64	70876		
	85	68185		

Ряд показателей определялся расчетным путем:

$$1. \text{ Масса белка (Мб), г} = \text{Мя.} - (\text{Мж.} + \text{Мск.}),$$

где Мя – масса целого яйца, г; Мж – масса желтка, г; Мск. – масса скорлупы, г.

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

где h – высота плотного белка, мм; d – малый (поперечный) диаметр плотного белка, мм; D – большой (продольный) диаметр плотного белка, мм.

$$3. \text{ Индекс желтка (ИЖ), \%} = h \div D \times 100,$$

где h – высота желтка, мм; d – диаметр желтка, мм.

$$4. \text{ Отношение массы белка к массе желтка (Обж)} = \text{Мб} \div \text{Мж},$$

где Мб – масса белка, г; Мж – масса желтка, г.

$$5. \text{ Объём яйца (V), см}^3 = (\text{M}_1 - \text{M}_2) \div 1,$$

где  $\text{M}_1$  – масса яйца в воздухе, г;  $\text{M}_2$  – масса яйца в дистиллированной воде, г; 1 – выталкивающая сила воды 1 г/см<sup>3</sup>.

$$6. \text{ Плотность яйца (P), г/см}^3 = \text{M}_1 \div V,$$

где  $\text{M}_1$  – масса яйца в воздухе, г; V – объём яйца, см<sup>3</sup>.

**Результаты исследования.** Оценка влияния возраста кур кросса Ну-Line Brown на товарные качества яиц (масса яйца, целостность и чистота скорлупы, а также их форма) проведена на 347 486 яйцах согласно ГОСТ 31654–2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия». По существующему стандарту при реализации яйца должны иметь стандартную форму, определенную весовую категорию, целую чистую скорлупу (с минимальными допусками по ее загрязненности). Яйца были получены от кур одного птичника в разные (18, 28, 48, 64, 85 нед.) возрастные периоды.

Анализ результатов исследования показал, что сверхкрупных (СВ) среди первых снесенных яиц не было. Они появляются с 20 нед. жизни (0,49%) и до 64 нед. доля их постепенно увеличивается с 1,74 до 1,86%. Исследуя динамику удельного веса этой категории в дальнейшем, было отмечено резкое увеличение яиц категории СВ (массой 75 г и выше) в период с 65-й по 85-ю неделю жизни кур и к концу использования доля таких яиц составила 6,51%. Исследованиями установлено, что самая высокая доля категории яиц С0 (65–74,9 г) была выявлена в конце использования птицы в возрасте 85 нед. – 67,63%. Удельный вес столовых яиц первой категории (С1) массой 55–64,9 г в этом возрасте оказался самым небольшим за весь период продуктивного использования птицы и составил 25,64%. Следует отметить снижение с возрастом количества мелких яиц. Так, яиц с массой 45,0–54,9 г среди снесенных яиц птицей в возрасте 18 нед. оказалось достоверно в 12,32 раза, или на 2,49%, больше, чем в конце продуктивного периода. Снижение доли мелких яиц с возрастом – вполне закономерный факт, обусловленный совершенствованием системы воспроизводства птицы с возрастом, повышением ее живой массы. Однако было замечено, что в течение почти всего периода эксплуатации кур количество мелких яиц было примерно одинаковым, но после 64 нед. жизни происходит значительное снижение их с 0,9% до 0,22%, т. е. число яиц категории С2 сократилось в 4,09 раза. Возможно это произошло за счет браковки слабой и больной птицы в данном возрасте.

Установлено, что число яиц нестандартной формы, слишком мелких и без скорлупы, немного увеличивается с возрастом, так же как и яиц с нарушением целостности скорлупы (бой, насечка, тек). Причем доля последних в конце периода использования птицы увеличилась в 1,5–2 раза по сравнению с количеством яиц, полученных в начале продуктивного цикла.

Известно, что качества яиц изменяются с возрастом [1; 4; 5; 6; 11]. В связи с этим была изучена возрастная динамика морфо-биофизических качеств яиц у кур кросса Ну-Line Brown. Наиболее важными показателями при оценке яиц считаются их масса и внутренняя структура. Динамика массы яиц в исследуемые возрастные периоды представлена на рис. 1.

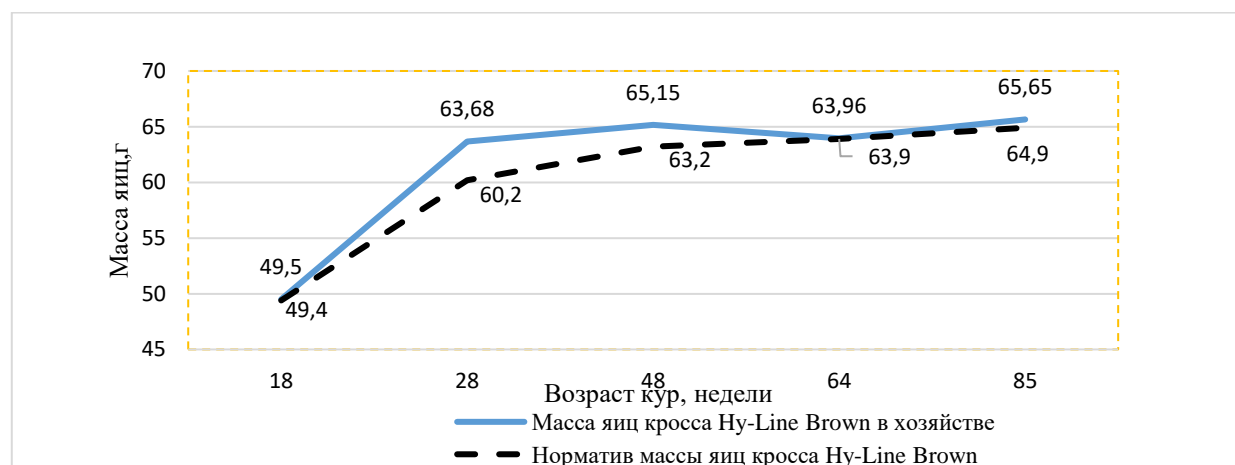


Рисунок 1. Возрастная динамика массы яиц  
Figure 1. Age dynamics of egg mass

Графический анализ полученных данных свидетельствует, что масса яиц кур кросса в исследуемые периоды продуктивного цикла превосходит или оказывается равной нормативам кросса. Особенно следует отметить интенсивное наращивание массы яиц у кур в хозяйстве во время максимальной («пика») яйценоскости и после, в период с 28-й по 48-ю неделю, что, вероятно, происходит за счет наиболее полного проявления генетического потенциала птицы при создании для этого соответствующих условий кормления и содержания. Далее масса несколько снижается, скорее всего за счет перевода птицы на другую фазу кормления. Однако к концу использования птицы масса яиц имеет тенденцию некоторого увеличения и на 0,75 г (1,16%) превышает стандарт кросса в этом возрасте.

Изменение массы яиц, возможно, повлекло изменение их внутреннего содержания. В связи с этим были проведены исследования возрастных изменений структуры яиц у исследуемого кросса. Структура яиц определяет пищевые и биологические качества яиц. Данные исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Динамика массы яиц и его структурных элементов  
Table 2. Dynamics of egg mass and its structural elements

Показатели	Возраст птицы, нед.				
	18	28	48	64	85
Масса яйца, г	49,50±0,82	63,68±0,73	65,15±0,79	63,96±0,85	65,65±0,71
Масса белка, г %	33,64±0,63 67,96	41,04±0,66 64,45	40,99±0,67 62,92	40,36±0,69 63,11	40,41±0,54 61,56
Масса желтка, г %	9,85±0,13 19,91	14,86±0,20 23,34	16,27±0,15 24,97	15,64±0,24 24,46	17,41±0,18 26,52
Масса скорлупы, г %	6,0±0,14 12,13	7,77±0,10 12,21	7,89±0,10 12,11	7,96±0,12 12,47	7,83±0,14 11,93

Исследованиями установлено, что наиболее изменяемой частью яиц оказалась белковая фракция. Это и понятно, так как она более динамична и изменяется посредством насыщения белка водой. В яйцах, полученных от молодой птицы (18 нед.), белковая фракция составляла 67,96% от массы яиц. В дальнейшем была замечена тенденция снижения доли белка в яйцах. У несушек в возрасте 85 нед. эта доля снизилась на 6,4% и составила 61,56%. Обратная тенденция замечена при изучении изменений, происходящих с долей желтка в яйцах с возрастом несушек. Самый маленький желток – в первых яйцах (18 нед.) – 19,91%, а в конце периода использования он увеличился на 6,61%. Изменения массы белка и желтка оказали влияние на показатель отношения массы белка к массе желтка, который с возрастом достоверно ( $V \geq 0,999$ ) снизился с 3,41 (18 нед.) до 2,32 (85 нед.), т. е. на 47%. Возрастная динамика массы скорлупы имеет слабо криволинейную зависимость и зависит не столько от возраста, сколько от яйценоскости и минерально-витаминного кормления.

В результате исследования можно предположить, что полученные изменения в структуре яиц с возрастом птицы могут вызвать изменения морфо-биофизических качеств белка, желтка и скорлупы. В связи с этим была определена возрастная динамика данных качеств у белка, желтка и скорлупы яиц, полученных от кур-несушек кросса Ну-Line Brown. Результаты исследования возрастной динамики показателей, характеризующих качество белковой фракции, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Динамика показателей качества белковой фракции яйца  
Table 3. Dynamics of quality indicators of egg protein fraction

Показатели	Возраст птицы, нед.				
	18	28	48	64	85
Масса яйца, г	49,50±0,82	63,68±0,73	65,15±0,79	63,87±0,85	65,65±0,71
Масса белка, г	33,64±0,63	41,04±0,66	40,99±0,67	40,27±0,69	40,41±0,54
%	67,96	64,45	62,92	63,05	61,56
Показатель подвижности фракций белка, град.	14,5±0,80	20,7±0,91	26,16 ±1,07	23,51±0,94	20,89±0,86
Индекс белка, %	13,88±0,47	11,90±0,41	10,85±0,24	9,88±0,37	8,21±0,23
Высота белка, мм	9,02±0,29	9,07±0,26	8,61±0,17	8,06±0,24	6,90±0,14

Полученные данные позволяют сделать вывод: подвижность фракций белка с возрастом имела достоверно ( $V \geq 0,90-0,999$ ) криволинейную зависимость. Первые яйца, полученные от птицы в возрасте 18 нед., имели много белка (67,96%), который, вероятно, был представлен в основном жидкими фракциям и показатель подвижности фракций был самым низким – 14,5 град. Плотный наружный белок в этих яйцах имел меньше воды и, соответственно, меньшие размеры. Высота плотного белка в яйцах, снесенных птицей в возрасте 18 нед., была самой большой (9,02 мм), что оказало влияние на его индекс и единицы Хау. С возрастом количество жидкого наружного белка в яйцах становилось меньше, а величина плотного белка увеличивалась за счет проникновения воды в плотный белок, который разжижался, утрачивал свою слоистость, высоту плотного белка, индекс и единицы Хау. Было установлено, что за весь период исследования высота белка снизилась с 9,02 мм до 6,9 мм, т. е. на 23,5%, что повлекло понижение индекса белка на 5,67%. Снижение высоты белка сказалось и на показателях единиц Хау, которые понизились с 98 ед. (18 нед.) до 81 ед. (85 нед.), т. е. примерно на 21%.

Таким образом, исследованиями установлено, что относительное количество белка с возрастом постепенно уменьшается, но выявлено, что высота, индекс белка, а также единицы Хау с возрастом снижаются, что свидетельствует о тенденции снижения качества белка.

Желток является основным питательным элементом яйца. В связи с этим были исследованы морфо-биофизические показатели качества желтка. Ранее в исследованиях было выявлено, что с возрастом доля желтка в яйцах достоверно ( $B \geq 0,999$ ) увеличивается (на 6,61%). Однако с увеличением массы у желтка увеличивался диаметр и снижалась высота. Все это привело к снижению индекса желтка. Была установлена четкая достоверная отрицательная связь индекса желтка с возрастом. Так, у яиц, полученных от 18-недельных кур, индекс желтка составлял 48,47%, а в конце периода использования (85 нед.) – 42,12%. Пигментация желтка в яйцах кур исследуемого кросса была небольшой на протяжении всего продуктивного периода и колебалась от 3,8 до 5,51 баллов из 15 возможных по шкале Роше. Анализ возрастной изменчивости этого показателя определил четкую положительную зависимость пигментации желтка с возрастом. Пигментация желтка в яйцах молодой (18 нед.) птицы составляла  $3,8 \pm 0,24$  балла по шкале Роше, в период максимальной продуктивности (28 нед.) –  $4,01 \pm 0,25$  балла, в 48 нед. –  $4,16 \pm 0,14$ , в 64 нед. –  $4,51 \pm 0,18$  и в конце периода использования (85 нед.) –  $4,89 \pm 0,24$  балла по шкале Роше. Возможно, высокая продуктивность птицы до 48-недельного возраста не позволяла накапливаться пигменту в желтке и интенсивность окраски желтка снижалась. Увеличение пигментации желтка в этот период (18–48 нед.) происходило значительно медленнее, чем в период 64–85 нед., когда продуктивность птицы заметно снизилась и продолжала снижаться.

Яйцо – единственный животноводческий продукт в природной упаковке. Однако эта упаковка очень хрупкая. С повреждением ее яйца не только теряют свою питательность из-за ускоряющихся процессов старения его содержимого, но и употребление их становится опасным для здоровья человека вследствие проникновения патогенной микрофлоры через поврежденные участки скорлупы. Нами были исследованы морфо-биофизические качества скорлупы яиц, полученных от кур разного возраста (табл. 4).

Таблица 4. Возрастная динамика морфо-биофизических качеств скорлупы яиц  
Table 4. Age dynamics of morpho-biophysical qualities of eggshells

Показатели	Возраст птицы, нед.				
	18	28	48	64	85
Масса скорлупы, г	$6,0 \pm 0,14$	$7,77 \pm 0,10$	$7,89 \pm 0,10$	$7,96 \pm 0,12$	$7,83 \pm 0,14$
%	12,13	12,21	12,11	12,46	11,93
Упругая деформация скорлупы, мкм	$22,41 \pm 0,55$	$21,55 \pm 0,45$	$22,65 \pm 0,59$	$22,93 \pm 0,64$	$32,92 \pm 1,51$
Мраморность скорлупы, балл	$3,3 \pm 0,34$	$2,8 \pm 0,29$	$2,93 \pm 0,28$	$2,55 \pm 0,07$	$2,37 \pm 0,12$
Показатель прочности скорлупы, у. ед.	$5 \pm 0,20$	$4,95 \pm 0,24$	$4,9 \pm 0,17$	$4,24 \pm 0,23$	$2,35 \pm 0,19$
Толщина скорлупы, мкм	$358,5 \pm 8,98$	$387,0 \pm 3,84$	$418,8 \pm 4,51$	$425,5 \pm 4,98$	$347,5 \pm 6,57$

Данные таблицы показывают, что, несмотря на то, что толщина скорлупы у яиц с возрастом в основном увеличивается, ее прочность снижается. Следует обратить внимание на качества скорлупы в конце периода использования. В этот период все показатели, характеризующие ее качество, резко снижаются. При снижении относительной массы скорлупы у яиц в 85 нед. жизни несушек снизилась ее толщина на 22,45% по сравнению с предыдущим возрастным периодом и на 3,17% – относительно яиц, полученных от самой молодой птицы (18 нед.), а это повлекло резкое ухудшение всех остальных ее показателей качества. Исследованиями установлена достоверная отрицательная зависимость качества скорлупы (прочности, упругой деформации, мраморности и пигментации) с возрастом кур. Так, мраморность скорлупы понизилась почти на балл в процессе эксплуатации птицы. С возрастом кур на 47% снизилась прочность скорлупы.

Яйца кур кросса Ну-Line Brown имеют коричневый цвет скорлупы с разной интенсивностью пигментации. В литературе неоднократно указывалось, что интенсивность пигментации скорлупы имеет отрицательную корреляцию с яйценоскостью и качеством скорлупы [3; 6; 7; 10].



Рисунок 2. Возрастная динамика пигментации скорлупы

Figure 2. Age dynamics of shell pigmentation

Оценка пигментации скорлупы яиц, полученных от кур в разные возрастные периоды, показала криволинейность связи этого показателя с возрастом (рис. 2). Причем замечено, что после 64 нед. жизни пигментация скорлупы снижается, что, вероятно, можно объяснить увеличением браковки кур в конце периода эксплуатации по продуктивности.

**Вывод.** Таким образом, знание возрастных изменений морфо-биофизических качеств яиц, полученных от кур кросса Ну-Line Brown, дает возможность не только определить их биологическую и пищевую ценность, но и установить возраст птицы при отборе яиц для дальнейшей переработки, контролировать и вовремя балансировать кормление птицы в связи с ее возрастными особенностями для получения качественной продукции, а также найти оптимальные условия хранения яиц, полученных от кур разного возраста.

#### Список источников литературы

1. Шамшина, Е.Н. Влияние возраста кур-несушек на качество яиц / Е.Н. Шамшина, А.И. Дарьин // Аграрная наука и инновационное развитие животноводства – основа экологической безопасности продовольствия: сб. науч. трудов национальной научно-практической конференции с международным участием; под общей редакцией М.В. Забелиной, Т.В. Решетняк, В.В. Светлова. – Саратов, 2021. – С.189–193.

2. Дарьин, А.И. Влияние возраста кур-несушек на качество яиц / А.И. Дарьин // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования: сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета. – Пенза, 2021.– С. 47–49.
3. Weight and egg quality correlation relationship on different age laying hens / S. Mitrovic, T. Pandurevic, V. Milic, et al. // *Journal of Food Agriculture & Environment*. – 2010. – Vol. 8. – P. 580–583.
4. Сулейманов, Ф.И. Влияние морфометрических и биофизических показателей куриных яиц на результаты инкубации / Ф.И. Сулейманов, Е.И. Степанова, М.И. Челнокова // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. –2021. – № 3 (36). – С. 33–41.
5. Вяльдина, Т.Ю. Влияние возраста кур-несушек разных кроссов на качество яиц / Т.Ю. Вяльдина, Р.Р. Зайнагабдинова, О.Ю. Ежова // Проблемы науки: научно-методический журнал. – 2019.– № 11 (47).– С. 32–33.
6. Околелова, Т.М. Качество яиц: проблемы и решения / Т.М. Околелова, С.В. Енгатшев // Наше сельское хозяйство. – 2021.– № 2 (250). – С.48–53.
7. Васильева, Л.Т. Качество инкубационных яиц кросса ROSS 308 в зависимости от возраста родительского стада / Л.Т. Васильева, А.Г. Бычаев // Стратегии и векторы развития АПК: сб. ст. по материалам нац. конф., посв. 100-летию Кубанского ГАУ (15 ноября 2021 г); / отв. за вып. А.А.Титученко. – Краснодар: КубГАУ, 2021.– С.3–6.
8. Samiullah, S. Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens / S. Samiullah, J. Roberts, K. Chousalkar // *Poultry Science*. – 2016. – 95(9). – P. 2052–2057. – doi: 10.3382/ps/pew197.
9. Фисенко, С.П. Сравнительная оценка морфологических показателей качества пищевых куриных яиц / С.П. Фисенко, А.В. Чекавинская, П.А. Прокофьевичева // Современное состояние: проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса Ивановской области: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. –2021.– С.134–137.
10. Левашова, М.А. Влияние возраста кур-несушек на качество яиц / М.А. Левашова, О.В. Филинская // Актуальные проблемы и перспективы развития отечественного животноводства: сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Заслуженного работника Высшей школы РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Л.П. Москаленко. – Ярославль, 2021.– С. 39–44.
11. Васильева, Л.Т. Современные методы оценки яиц: методические указания к практическим занятиям для обучающихся по направлению подготовки 36.04.02 Зоотехния / Л.Т. Васильева, А.Г. Бычаев. – СПб.: СПбГАУ, 2021.– 37 с.

### References

1. Shamshina, E.N., Darin, A.I. (2021), “The influence of the age of laying hens on the quality of eggs”, *Agrarian science and innovative development of animal husbandry – the basis of ecological food safety: collection of scientific works of the national scientific and practical conference with international participation*, Under the general editorship of M.V. Zabelina, T.V. Reshetnyak, V.V. Svetlova, Saratov, pp.189–193. (in Russ.)
2. Daryin, A.I. (2021), ”The influence of the age of laying hens on the quality of eggs”, *Protection of biodiversity and environmental problems of nature management. Collection of articles of the II All-Russian (national) Scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Penza State Agrarian University*, Penza, pp. 47–49. (in Russ.)
3. Mitrovic, S., Pandurevic, T., Milic, V., et al. (2010), “Weight and egg quality correlation relationship on different age laying hens”, *Journal of Food Agriculture & Environment*, vol. 8, pp. 580–583.
4. Suleymanov, F.I., Stepanova, E.I., Chelnokova, M.I. (2021), “Influence of morphometric and biophysical parameters of chicken eggs on incubation results”, *Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy*, no. 3 (36), pp. 33–41. (in Russ.)
5. Vyaldina, T.Yu., Zainagabdinova, R.R., Yezhova, O.Yu. (2019), “The influence of the age of laying hens of different crosses on the quality of eggs”, *Problems of science: scientific and methodological journal*, 2019, no. 11 (47), pp. 32–33. (in Russ.)
6. Okolelova, T.M., Engashev, S.V. (2021), ‘Egg quality: problems and solutions’, *Our agriculture*, no. 2 (250), pp.48–53. (in Russ.)
7. Vasilyeva, L.T., Bychaev, A.G. (2021), “The quality of incubation eggs of the ROSS 308 cross depending on the age of the parent herd”, *Strategies and vectors of agro-industrial complex development: collection*



- of articles based on the materials of the National Conf., dedicated to the 100th anniversary of the Kkubansky GAU (November 15, 2021), rel. for the issue of A.A. Tituchenko, Krasnodar, KubGAU, pp. 3–6. (in Russ.)
8. Samiullah, S., Roberts, J., Chousalkar, K. (2016), Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens, *Poultry Science*, 95(9), pp. 2052–2057, doi: 10.3382/ps/pew197.
  9. Fisenko, S.P., Chekavinskaya, A.V., Prokoficheva, P.A. (2021), “Comparative assessment of morphological indicators of the quality of food chicken eggs”, *Current state: problems and prospects of development of the agro-industrial complex of the Ivanovo region*, *Collection of materials of the All-Russian scientific and methodological conference*, pp.134–137. (in Russ.)
  10. Levashova, M.A., Filinskaya, O.V. (2021), “Influence of age of laying hens on egg quality”, *Current problems and prospects for the development of domestic animal husbandry. Collection of scientific papers based on the materials of the National Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the memory of the Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor L.P. Moskalenko, Yaroslavl*, pp. 39–44. (in Russ.)
  11. Vasilyeva, L.T., Vychaev, A.G. (2021), “Modern methods of egg evaluation”: *methodological guidelines for practical classes for students in the field of training 36.04.02 Zootechny*, St. Petersburg, SPbGAU, p. 37. (in Russ.)

#### Сведения об авторах

**Васильева Людмила Трофимовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 1650-7162.

**Бычаев Александр Георгиевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 5435-6585.

#### Information about the authors

**Lyudmila T. Vasilyeva** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P.P. Tsarenko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin code: 1650-7162.

**Alexander G. Vychaev** –Associate Professor 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: 5435-6585.

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 20.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted to the editorial office 30.01.2023; approved after reviewing 20.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 621.822

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-89-99

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА  
УПЛОТНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАВЫ**

**Александр Петрович Картошкин<sup>1</sup>, Алексей Иванович Сухопаров<sup>2</sup>,  
Ярослав Сергеевич Соловьев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,  
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия;

akartoshkin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>

<sup>2</sup>Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –  
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д.3, Санкт-Петербург, 196625, Россия;

sukhoparov\_ai@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7967-6449>

<sup>3</sup>Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –  
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д.3, Санкт-Петербург, 196625, Россия;

solyar10@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2016-6214>

**Реферат.** Силос из подвяленных трав является базовым сочным кормом в рационе питания высокопродуктивного животноводства. Заготовка корма в траншеях занимает лидирующее положение по отношению к другим видам хранилищ (рулонам, рукавам, башням) за счет низкой стоимости хранения 1 тонны корма. В технологии заготовки силоса уплотнение травы в траншее (не менее 160 кг СВ/м<sup>3</sup>) является операцией, регламентирующей поточность всей технологической цепочки. Реализация технологии заготовки силоса как технической системы преобразования исходного сырья (травы в поле) в конечный продукт (уплотненную измельченную траву в траншее) осуществляется взаимоувязанными машинами. В этом случае необходимо в течение 3–4 дней перевести траву массой порядка 1,5–3,5 тыс. т (в зависимости от размера траншеи) из состояния роста в поле к состоянию утрамбованной до плотности 500–750 кг/м<sup>3</sup> измельченной травы в траншее. Производительность укладчика-уплотнителя определяет производительность уборочно-транспортного комплекса. Полученные результаты позволят сформировать программу управления агрегатом для уплотнения травы в траншее и в перспективе сформулировать основные требования к роботизированному укладчику-уплотнителю травы (силосной массы) в траншее. Применение цифровых технологий для управления заготовкой силоса на основании моделей технологических процессов позволит наиболее рационально принимать управляющие решения и обеспечивать повышение качества корма и снижение удельных издержек. Цель исследования настоящей статьи – повышение эффективности заготовки силоса путем разработки программы управления агрегатом уплотнения травы в траншее. В работе использовались аналитические и экспериментальные методы исследования.

Для реализации поставленной цели и получения исходных данных нами проведен эксперимент на созданной лабораторной установке. На основании экспериментальных исследований разработана модель управления агрегатом для уплотнения растительной массы в траншее с учетом технологических характеристик травы.

Полученные результаты позволят сформировать программу управления уборочно-транспортным комплексом заготовки силоса и в перспективе сформулировать основные требования к роботизированному укладчику-уплотнителю травы (силосной массы) в траншее.

**Ключевые слова:** заготовка силоса, управление технологическим процессом, уплотнение в траншее, измельченная трава

**Цитирование.** Картошкин А.П., Сухопаров А.И., Соловьев Я.С. Результаты экспериментальных исследований процесса уплотнения растительной массы в зависимости от технологических характеристик травы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(70). – С. 89–99. doi:10.24412/2078-1318-2023-1-89-99

## RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF COMPACTION OF PLANT MASS DEPENDING ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GRASS

Alexander P. Kartoshkin<sup>1</sup>, Alexey I. Sukhoparov<sup>2</sup>, Yaroslav S. Solovev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; akartoshkin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>  
196601, Russian Federation, Saint-Petersburg, Pushkin, Peterburgskoye shosse, 2

<sup>2</sup>Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production - branch of FSBI FNAC VIM, Filitrovskoe Highway, 3, St. Petersburg, 196625, Russia; sukhoparov\_ai@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>

<sup>3</sup>Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production - branch of FSBI FNAC VIM, Filitrovskoe Highway, 3, St. Petersburg, 196625, Russia; solyar10@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>

**Abstract.** Dried grass silage is the basic succulent feed in the diet of highly productive animal husbandry. Forage harvesting in trenches occupies a leading position in relation to other types of storage (rolls, sleeves, towers) due to the low cost of storing 1 ton of fodder. In the silage harvesting technology, grass compaction in a trench (not less than 160 kg DM/m<sup>3</sup>) is an operation that regulates the flow of the entire technological chain. Implementation of silage harvesting technology as a technical system for converting raw materials (grass in the field) into the final product (compacted crushed grass in a trench) is carried out by interconnected machines. In this case, it is necessary to transfer the grass weighing about 1.5 – 3.5 thousand tons (depending on the size of the trench) from the state of growth in the field to the state of crushed grass compacted to a density of 500 – 750 kg/m<sup>3</sup> within 3 – 4 days (depending on the size of the trench). The performance of the stacker-sealer determines the productivity of the harvesting and transport complex. The obtained results will make it possible to form a control program for a grass compactor in a trench and, in the future, to formulate the main requirements for a robotic grass (silage mass) compactor in a trench. The use of digital technologies for managing silage harvesting based on models of technological processes will make it possible to make management decisions in the most rational way and improve feed quality and reduce unit costs. The purpose of the study of this article is to increase the efficiency of silage harvesting by developing a control program for the grass compaction unit in the trench. Analytical and experimental research methods were used in the work. To achieve this goal and obtain the initial data, we conducted

an experiment on a created laboratory installation. On the basis of experimental studies, a model for controlling the unit for compacting plant mass in a trench has been developed, taking into account the technological characteristics of the grass. The obtained results will make it possible to form a control program for the harvesting and transport complex for silage harvesting and, in the future, to formulate the main requirements for a robotic grass (silage mass) compactor in a trench.

**Keywords:** *silage harvesting, process control, trench compaction, crushed grass*

**Citation:** Kartoshkin, A.P., Sukhoparov, A.I., Solovyov, Ya.S. (2023), Results of experimental studies of the process of compaction of plant mass depending on the technological characteristics of the grass, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 89–99. (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-89-99

**Введение.** Объемы и динамика развития молочного производства в России наглядно демонстрируют перспективы дальнейшего наращивания объемов производства при условии внедрения современных технологий ухода за животными, использования качественных продуктов питания и обеспечения необходимых климатических условий в местах для содержания скота [1].

Молочное скотоводство является наиболее эффективной отраслью по производству животного белка. Из-за недостатка и низкого качества кормов генетический потенциал отечественного молочного скота реализуется лишь на 40–60% [1]. Основная задача кормопроизводства – производство высококачественных объемистых кормов для скота, которые должны содержать 10,5–11,0 МДж ОЭ (обменная энергия), 15–18% (злаки) и 18–23% (бобовые) сырого протеина в сухом веществе [2].

Силос из подвяленных трав занимает до 70% доли рациона при содержании высокопродуктивного животноводства [3]. Технология заготовки силоса позволяет сохранить больше витаминов из трав по сравнению с другими видами объемистых кормов (сено, сенаж), особенно в сложных погодных условиях.

Применение цифровых технологий для управления заготовкой силоса позволит на основании моделей технологических процессов [4] наиболее рационально принимать управляющие решения и обеспечивать повышение качества корма и снижение удельных издержек.

Хранение силоса в траншеях занимает лидирующую позицию по сравнению с другими типами хранилищ (рулонами, рукавами, башнями). Это обусловлено, прежде всего, удельной стоимостью хранения 1 т корма при таком способе заготовки.

В технологии заготовки силоса основной операцией, регламентирующей поточность всей технологической цепочки [5], является уплотнение травы в траншее до требуемой плотности 500–750 кг/м<sup>3</sup> (требования по НТП-АПК 1.10.11.001-00). При этом основные существенные потери питательной ценности травы при консервации в кислой среде происходят из-за нарушения требований к качеству уплотнения (равномерности уплотнения и плотности не менее 500 кг/м<sup>3</sup>) и сроков укладки травы в траншею [6; 7]. И, как следствие, сдвигаются сроки герметизации траншеи.

Для повышения эффективности заготовки силоса необходимо обеспечить равномерное и качественное уплотнение и герметизацию силосуемой массы.

**Цель исследования** – повышение эффективности заготовки силоса путем разработки модели процесса уплотнения растительной массы в траншее.

**Материалы, методы и объект исследований.** В работе использовались аналитические и экспериментальные методы исследования [8]. При описании технологического процесса заготовки силоса применялся системный анализ. Эффективность оценки технологического процесса укладки травы в траншею оценивалась по критериям минимальных затрат времени и по критериям минимальных стоимостных затрат для получения заданной плотности при выполнении технологической операции уплотнения [9].

Реализация технологии заготовки силоса как технической системы преобразования исходного сырья (травы в поле) в конечный продукт (уплотненную измельченную траву в траншее) осуществляется взаимоувязанными машинами. В этом случае необходимо в течение 3–4 дней перевести траву массой порядка 1,5–3,5 тыс. т (в зависимости от размера траншеи) из состояния роста в поле к состоянию утрамбованной до плотности 500–750 кг/м<sup>3</sup> измельченной травы в траншее.

Производительность укладчика-уплотнителя определяет производительность уборочно-транспортного комплекса. Полученные результаты позволяют сформировать программу управления агрегатом для уплотнения травы в траншее и в перспективе сформулировать основные требования к роботизированному укладчику-уплотнителю травы (силосной массы) в траншее.

Для формирования программы по управлению агрегатом для уплотнения измельченной травы в траншее важным является получение информации о необходимом времени для укладки травы в траншее с требуемой плотностью (500...750 кг/м<sup>3</sup>).

Время уплотнения травы зависит от ряда факторов, связанных с сырьем (длиной резки, фазой вегетации, влажностью, толщиной слоя). Функциональная зависимость имеет вид:

$$t_{\text{упл.}} = f(\omega_{\text{тр}}, l, h_{\text{сл}}, n_{\text{упл.возд.}}, p), \quad (1)$$

где  $\omega_{\text{тр}}$  – влажность измельченной травы, %;

$l$  – степень измельчения (длина резки), мм;

$h_{\text{сл}}$  – высота укладываемого слоя, см;

$n_{\text{упл.возд.}}$  – число уплотняющих воздействий, ед.;

$p$  – удельное давление технического средства, кг/см<sup>2</sup>.

Чтобы определить время (продолжительность уплотнения), которое необходимо затратить для уплотнения порции измельченной травы в траншее до заданной плотности, были выделены основные управляемые факторы и уровни их варьирования (табл. 1).

Таблица 1. Факторы, влияющие на процесс уплотнения измельченной травы  
Table 1. Factors affecting the compaction process of crushed grass

Факторы	Кодовые обозначения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень
Длина резки, мм	x <sub>1</sub>	20	50	30	10
Влажность провяленной массы при подборе, %	x <sub>2</sub>	7,5	80	72,5	65
Высота закладываемого слоя, см	x <sub>3</sub>	20	20	40	60
Количество воздействий, шт.	x <sub>4</sub>	6	4	10	16

Исследования проводились на смешанном травостое в фазах колошения или цветения по злаковому компоненту или стеблевания и бутонизации по бобовому компоненту.

Для формирования начальной плотности ( $250 \text{ кг/м}^3$ ) используется камера предварительного подпрессовывания [10] измельченной травы. Она представляет собой небольшой контейнер с квадратным поперечным сечением  $100 \text{ см}^2$  и высотой 250 мм. Для удобства проведения исследований слои 20, 40 и 60 см формируются порциями измельченной травы массой по  $0,5 \pm 0,01 \text{ кг}$ . Камера подпрессовывания позволяет задать измельченной растительной массе подходящие форму и объем для проведения исследований в экспериментальной установке.

Методика выполнения работ на экспериментальной установке:

1. Из мешка с измельченной травой берется порция  $0,5 \pm 0,01 \text{ кг}$  и закладывается в сетку.
2. Проводится взвешивание полученной порции.
3. Порция травы закладывается в камеру предварительного подпрессовывания (величина подпрессовывания  $250 \text{ кг/м}^3$ ).
4. После изъятия порции из камеры предварительного подпрессовывания порция закладывается в установку.

Для исследований в лабораторных условиях была сформирована экспериментальная установка для имитации процесса уплотнения. Схема и основные элементы установки представлены на рис. 1.

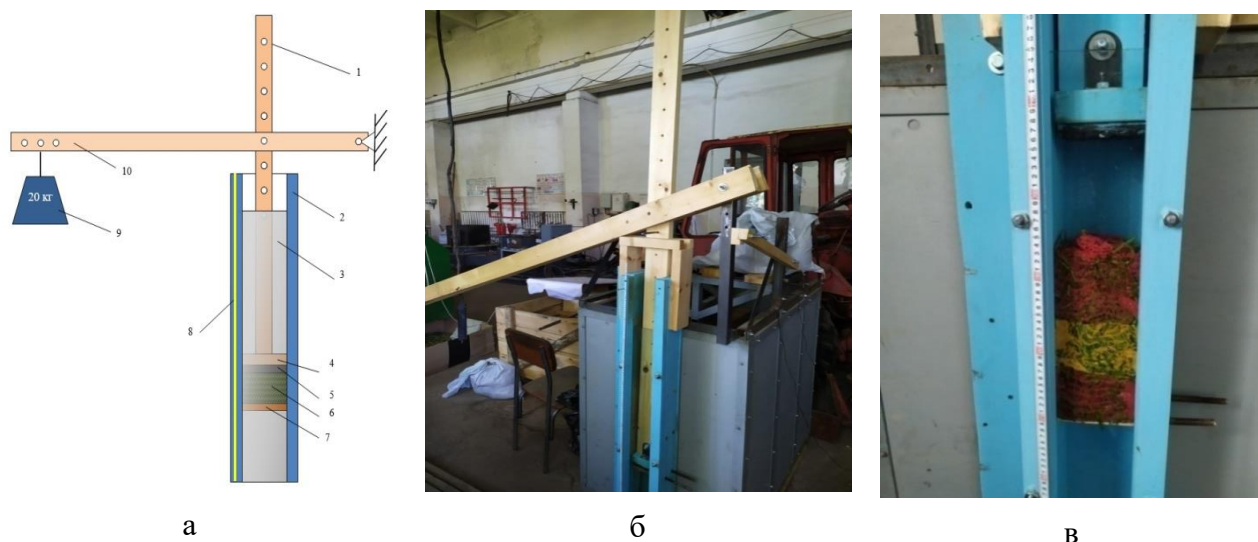


Рисунок 1. Схема и основные элементы экспериментальной установки для имитации процесса уплотнения травы в траншее: 1а – схема установки; 1б – общий вид установки; 1в – вид уплотненной травы; 1 – поршень, 2 – камера прессования, 3 – стенка из стекла, 4 – пятка поршня, 5 – прорезиненная накладка, 6 – порция измельченной травы, 7 – планка основания, 8 – измерительная шкала, 9 – груз, 10 – рычаг

Figure 1. Scheme and main types of experimental installation to simulate the process of compaction of grass in the trench: 1a – installation diagram; 1b – general view of the installation; 1b – view of compacted grass; 1 – piston, 2 – pressing chamber, 3 – glass wall, 4 – piston heel, 5 – rubberized pad, 6 – portion of crushed grass, 7 – base bar, 8 – measuring scale, 9 – load, 10 – lever

**Результаты исследований.** Для проведения экспериментальных исследований удельное давление уплотнителя на траву было принято  $2,0 \text{ кг/см}^2$  ( $0,196 \text{ МПа}$ ), что соответствует удельному давлению колесного трактора 5-го тягового класса.

На основании протоколов испытаний ФГБНУ «Северо-Западная машиноиспытательная станция» [5] и проверки в хозяйственных условиях величина исходной плотности травы (трава из кузова транспортного средства) была принята равной  $250 \text{ кг/м}^3$ . В качестве граничных значений требуемой плотности принят диапазон  $500\text{--}750 \text{ кг/м}^3$ .

В результате обработки экспериментальных данных с помощью программы Statgraphics Centurion [11] была сформирована модель процесса уплотнения измельченной травы в зависимости от сочетания различных факторов, которая имеет вид:

$$Y = 5602,25 - 15,06x_1 - 148,6x_2 + 13,3x_3 + 24,4x_4 + 0,1x_1^2 + 1,1x_2^2 - 0,1x_3^2 - 0,7x_4^2 + 0,1x_1x_2 - 0,1x_2x_3 - 0,1x_3x_4, \quad (1)$$

где  $Y$  – требуемая плотность,  $500\text{--}750 \text{ кг/м}^3$ ;  $x_1$  – длина резки травы, мм;  $x_2$  – влажность измельченной травы, %;  $x_3$  – толщина слоя измельченной травы, см;  $x_4$  – количество уплотняющих воздействий на измельченную траву, шт.

Надежность уравнения характеризуется критерием Фишера ( $F$ ), а достоверность коэффициентов корреляции и регрессии – критерием Стьюдента ( $t$ ).

Для полученного уравнения уровень значимости по критерию Фишера составляет  $0,8 \cdot 10^{-7}$  и он меньше  $0,05$ , что характеризует надежность уравнения.

Квадрат множественного коэффициента корреляции ( $R^2$ ) равняется  $87,2\%$ . Это позволяет судить о том, что общее влияние факторов на зависимую переменную (плотность травы) составляет  $87\%$ .

Анализ значимости факторов по критерию Стьюдента ( $t$ ) позволил заключить, что наиболее значимым является фактор  $x_4$  (количество уплотняющих воздействий), который составляет  $10,4$  по шкале. Остальные факторы располагаются в следующем порядке: квадрат фактора  $x_2$  (влажность измельченной травы) со значимостью  $8,14$  по шкале; квадрат фактора  $x_3$  (высота закладываемого слоя) –  $7,89$ ; квадрат  $x_4$  (количество воздействий) –  $6,56$ ;  $x_1$  (длина резки) –  $5,53$  и  $x_3$  –  $5,14$ .

По уравнению регрессии построены поверхности отклика в трехмерном изображении:  $Y=f(x_1, x_4)$ ;  $Y=f(x_2, x_4)$ ;  $Y=f(x_3, x_4)$ , представленные на рис. 2, 3 и 4.

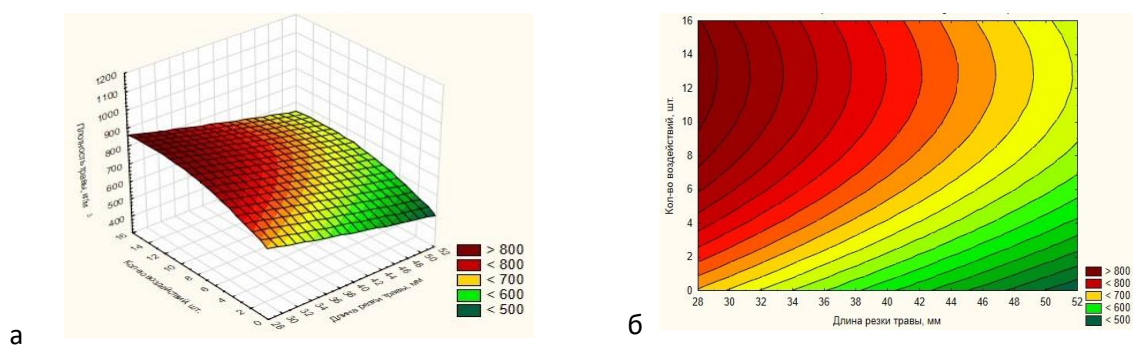


Рисунок 2. Зависимость плотности от длины резки травы ( $x_1$ , мм) и количества воздействий ( $x_4$ , шт.), при факторах  $x_3=30$  см,  $x_2=70$  %; 3а – поверхность отклика, 3б – кривые равного уровня (изолинии)

Figure 2. Dependence of density on the length of cutting grass ( $x_1$ , mm), and the count of impacts ( $x_4$ , pcs.), with factors  $x_3=30$  cm,  $x_2=70$  %; 3a – response surface, 3b – curves of equal level (isolines)

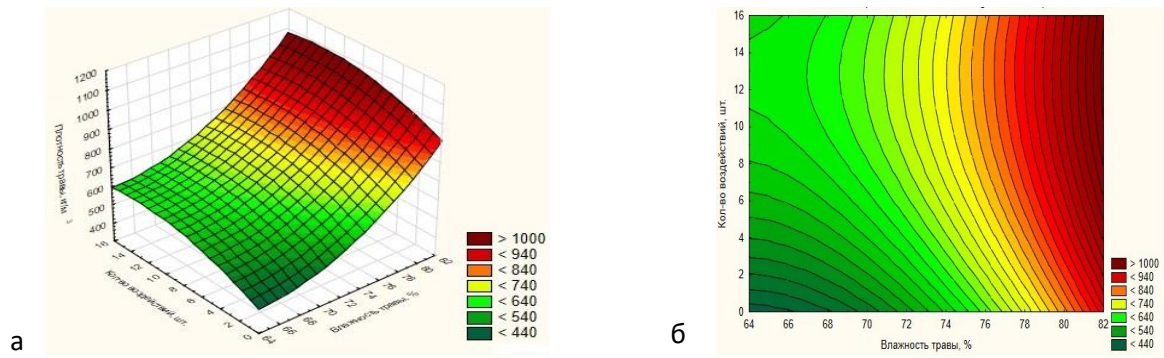


Рисунок 3. Зависимость плотности от влажности измельченной травы ( $x_2$ , %) и количества воздействий ( $x_4$ , шт.), при факторах  $x_1=30$  мм,  $x_3=30$  мм; 4а – поверхность отклика, 4б – кривые равного уровня (изолинии)  
Figure 3. Dependence of density on humidity of crushed grass ( $x_2$ , %) and the count of impacts ( $x_4$ , pcs.), with factors  $x_1 = 30$  mm,  $x_3 = 30$  mm; 4a – response surface, 4b – curves of equal level (isolines)

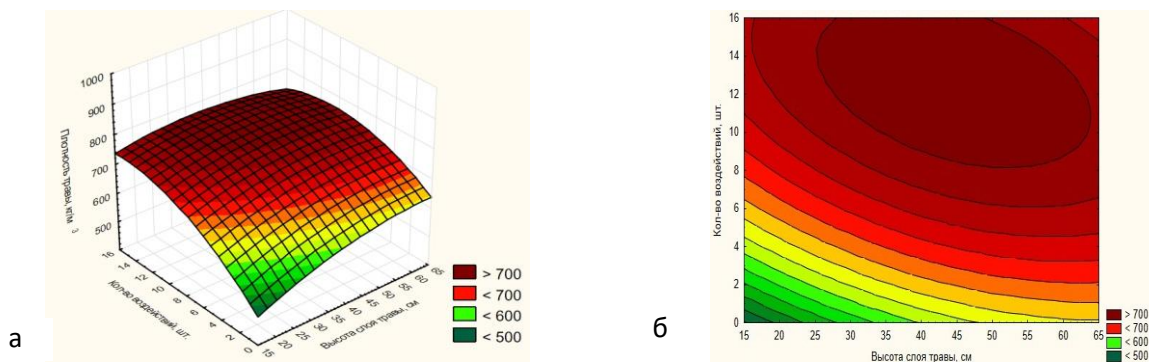


Рисунок 4. Зависимость плотности от высоты слоя измельченной травы ( $x_3$ , см) и количества воздействий ( $x_4$ , шт.), при факторах  $x_1=30$  мм,  $x_2=70$  %; 5а – поверхность отклика, 5б – кривые равного уровня (изолинии)  
Figure 4. Density dependence on the height of the crushed grass layer ( $x_3$ , cm) and the count of impacts ( $x_4$ , pcs.), with factors  $x_1 = 30$  mm,  $x_2 = 70$  %; 5a – response surface, 5b - curves of equal level (isolines)

Как видно из представленных зависимостей, все поверхности неоднозначны, имеют различные изменения и показывают, что гиперплоскость четырёхфакторного пространства обладает сложным характером протекания. Следовательно, однозначного решения в управлении плотностью травы не имеется.

Предварительный анализ показал, что математическая модель должна иметь экстремум для обеспечения заданного уплотнения травы. Возникает вопрос определения координат и значения экстремума. Из-за сложного характера гиперплоскости модели теоретический поиск экстремума путём определения производных невозможен, поскольку он может находиться за пределами изменения факторов в экспериментальных данных.



Для анализа области экстремума поверхности для параметров  $x_1 = 30$ ,  $x_2 = 70$ ,  $20 \leq x_3 \leq 60$ ,  $1 \leq x_4 \leq 18$  были построены поверхность отклика (рис. 4 а) и сечение поверхности отклика (рис. 4б).

Из полученных данных видно, что поверхность в области экстремума имеет выпуклость и сечения в виде эллипсов. Это значит, что одно и то же значение плотности травы можно получить при различных значениях толщины слоя травы ( $x_3$ ) и количества воздействий на траву ( $x_4$ ).

Для принятия решения следует выполнить определение всех возможных значений  $x_3$  и  $x_4$  в заданном пространстве переменных  $x_1$  и  $x_2$  при заданной плотности травы.

Необходимая плотность травы:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow P_{\text{зад}}, \quad (2)$$

при ограничении факторов  $x_1$ ,  $x_2$ .

Параметры поступающей травы:

$$x_1 \min \leq x_1 \leq x_1 \max; \quad x_2 \min \leq x_2 \leq x_2 \max.$$

Необходимо определить все возможные значения  $x_3$  и  $x_4$  в заданных пределах, при которых соблюдается условие (6).

$$20 \leq x_3 \leq 60; \quad 1 \leq x_4 \leq 18.$$

Для решения задачи разработаны алгоритм поиска возможных решений в заданном пространстве и компьютерная программа решения задачи методом полного перебора.

Для решения задачи были приняты следующие условия:

- начальные параметры травяной массы:  $20 \leq x_1 \leq 30$ ;  $65 \leq x_2 \leq 70$ ;
- необходимая плотность травы: 650,0 – 651,0;
- искомые показатели:  $20 \leq x_3 \leq 60$ ;  $1 \leq x_4 \leq 18$ .

В результате решения такой задачи было проведено 4500 итераций, получено 33 варианта параметров, удовлетворяющих условиям. В качестве примера часть результатов приведена в табл. 2.

Таблица 2. Результаты подбора параметров  $x_3$  и  $x_4$   
Table 2. Results of selection of parameters  $x_3$  and  $x_4$

№ п/п	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$P_{\text{зад}}$
1	20.0000	66.0000	25.0000	7.0000	650.5031
2	20.0000	66.0000	35.0000	5.0000	650.3815
3	20.0000	67.0000	50.0000	5.0000	650.1341
4	21.0000	68.0000	15.0000	17.0000	650.8588
5	23.0000	67.0000	20.0000	11.0000	650.4782
6	23.0000	67.0000	55.0000	7.0000	650.3583
7	25.0000	68.0000	45.0000	7.0000	650.3741
8	27.0000	65.0000	35.0000	7.0000	650.0684
9	28.0000	66.0000	25.0000	11.0000	650.2830
10	29.0000	67.0000	35.0000	9.0000	650.5490
11	29.0000	68.0000	25.0000	17.0000	650.9443

Из анализа следует:

1. Для измельченной травы высокой влажности (до 80%) уплотнение даже за одно–два воздействия достигает требуемой плотности. Однако известно, что из травы влажностью 80% и более обильно вытекает сок, содержащий питательные вещества.

2. При влажности измельченной травы  $65 \pm 2,0$  % для достижения плотности от  $650 \text{ кг/м}^3$  и выше при толщине слоя 20–40 см необходимо 5–7 воздействий.

**Выводы.** Полученная модель (2) и результаты расчёта использованы для формирования программы управления агрегатом, который выполняет процесс уплотнения измельченной травы в силосной траншее. При этом, меняя величину управляемых факторов (длину резки, толщину слоя, количество уплотняющих воздействий), можно определить необходимое количество проходов агрегата и установить время, которое потребуется для уплотнения массы в траншее, объем и сроки доставки травы с поля, а также время работы кормоуборочного комбайна.

#### Список источников литературы

1. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности / В.И. Волгин, Л.В. Романенко, П.Н. Прохоренко, З.Л. Федорова, Е.А. Корочкина. – М.: РАН, 2018. – 260 с.
2. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов: науч.- аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 196 с.
3. Кукурузный силос для молочных коров: что важно // Агровестник. – 2021.– URL: <https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/kukuruznyj-silos-dlya-molochnykh-korov-chto-vazhno.html> (дата обращения: 12. 10. 2022).
4. Соловьёв, Я.С. Моделирование условий определения коэффициента вероятности выполнения задания сельскохозяйственной машиной при испытаниях / Я.С. Соловьёв // Известия международной академии аграрного образования. – 2018. – № 4-2. – С. 65–70.
5. Научный отчёт // Журнал «Вестник испытаний Северо-Запада. 2019 год» ФГБУ «СЗМИС». – Калитино, 2020. – 73 с.
6. Попов, В.Д. Оценка рисков технологического процесса заготовки кормов из трав по показателю надёжности машин / В.Д. Попов, А.П. Картошкин, Я.С. Соловьёв // Известия международной академии аграрного образования. – 2020. – № 49 (6). – С. 50–56.
7. Соловьёв, Я.С. Влияние надёжности машин на риски потерь кормов при заготовке силоса из трав / Я.С. Соловьёв, А.М. Валге, А.П. Картошкин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (67). – С. 175–183.
8. Method for assessing agricultural machines for food processing on basis of fuzzy probabilistic models / V. Popov, A. Spesivtsev, Y. Solovev, V. Spesivtsev // Engineering for Rural Development. – 2020. – P. 763–766.
9. Попов, В.Д. Методы оценки эффективности технологических процессов производства кормов из трав / В.Д. Попов, Я.С. Соловьёв // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 3 (96). – С. 119–129.
10. Irisov, K. D. Economic Test Results of Experimental Sprint Device. Technical Science and Innovation / K.D. Irisov, A.P. Kartoshkin. – Tashkent State Technical University Named After Islam Karimov. – 2021. – № 3. – P. 238–248.
11. Devaney, S. Silage Analysis – Why its important and what it alt means. – URL: <https://www.teagase.ie/publikations/2017/silage-analysis> (accessed 28. 09. 2022).

#### References

1. Volgin, V.I., Romanenko, L.V., Prokhorenko, P.N., Fedorova, Z.L., Korochkina, E.A. (2018), *Polnocennoe kormlenie molochnogo skota – osnova realizacii geneticheskogo potenciala produktivnosti* [Full-fledged feeding of dairy cattle – the basis for the realization of the genetic potential of productivity], M., RAS, 260 p. (in Russ.)

2. *Innovacionnye tekhnologii zagotovki vysokokachestvennykh kormov: nauch.- analit. obzor* [Innovative technologies for harvesting high-quality feed: sci. analyte review] (2017), М., Rosinformagrotech, 196 p. (in Russ.)
3. Corn silage for dairy cows: which is important, *Agrovestnik*, 2021, available: <https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/kukuruznyj-silos-dlya-molochnykh-korov-cto-vazhno>, accessed 12.10. 2022. (in Russ.)
4. Solovyov, Ya. S. (2018), Modeling of the conditions for determining the probability coefficient of task performance by an agricultural machine during tests, *Izvestiya mezhdunarodnogo akademii agrarnogo obrazovaniya*, no. 41-2, pp. 65–70. (in Russ.)
5. Nauchnyj otchyot [Scientific report] (2020), *Journal "Bulletin of tests of the North-West. 2019"FSBI "SZMIS"*, Kalitino, 73 p. (in Russ.)
6. Popov, V.D., Kartoshkin, A.P., Solovyov, Ya.S. (2020), Assessment of the risks of the technological process of harvesting feed from grasses according to the reliability of machines, *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*, no. 49 (6), pp. 50–56. (in Russ.)
7. Solovyov, Ya. S., Valge, A.M., Kartoshkin, A.P. (2022), The influence of machine reliability on the risks of feed losses when harvesting silage from grasses, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no 2 (67), pp. 175–183. (in Russ.)
8. Popov, V., Spesivtsev, A., Solovev, Y., Spesivtsev, V. (2020), Method for assessing agricultural machines for food processing on the basis of fuzzy probabilistic models, *Engineering for Rural Development-ment*, pp. 763–766.
9. Popov, V.D., Solovyov, Ya. S. (2018), Methods of evaluating the effectiveness of technological processes for the production of grass feed, *Technologies and technical means of mechanized production of plant and animal products*, no. 3 (96), pp. 119–129. (in Russ.)
10. Irisov K.D., Kartoshkin A.P. (2021), Economic Test Results of Experimental Sprint Device, *Technical Science and Innovation*, Tashkent State Technical University Named After Islam Karimov, no 3, pp. 238–248.
11. Devaney, S. (2017), *Silage Analysis – Why its important and what it alt means*, available: <https://www.teagase.ie/publications/2017/silage-analysis>, accessed 28.09.2022.

#### Сведения об авторах

**Картошкин Александр Петрович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 1245-0618.

**Сухопаров Алексей Иванович** – кандидат технических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ – филиал «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», spin-код: 1530-5661.

**Соловьёв Ярослав Сергеевич** – научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ – филиал «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», spin-код: 6076-8405.

#### Information about authors

**Kartoshkin Alexander Petrovich** – Doctor of Technical Sciences, professor, Professor of the department "Cars, tractors and technical service", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg State Agrarian University», spin-cod: 1245-0618.

**Sukhoparov Алексей Иванович** – Candidate of Technical Sciences, Chief researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», spin-cod: 1530-5661.

**Solovev Yaroslav Sergeevich** – Research Associate, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal State budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», spin-cod: 6076-8405.

**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 22.11.2022; одобрена после рецензирования 24.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 22.11.2022; approved after reviewing 24.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 663.915

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-99-110

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕХАНОАКТИВАЦИИ МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ФЕРРОТЕЛ

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

<sup>1</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>

<sup>2</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>

**Реферат.** Повышение уровня технологического суверенитета перерабатывающих производств АПК является приоритетным направлением развития аграрного сектора экономики. В настоящее время все еще существует проблема зависимости производства готовых кормовых смесей от импортных поставок компонентов, вводимых в корм для повышения его протеиновой и энергетической ценности. Эксперты в этой области выявили, что на долю сбалансированных кормов приходится только 35%. На основании анализа результатов поисковых патентно-информационных исследований определено, что одним из перспективных направлений в этой области является механоактивация перерабатываемого материала в аппаратах с магнитоожигенным слоем. Цель таких системных исследований – выявление условий для формирования оптимального поля силовых нагрузок по частицам механоактивируемого перерабатываемого продукта. Установлено, что энергонапряженного, многоточечного и равномерного поля силовых воздействий по частицам перерабатываемого продукта с эффективным управлением физико-механическими свойствами рабочего процесса

передачи энергии слою продукта можно достичь при использовании аппаратов с магнитоожигенным слоем ферротел. Доказано, что синергия энергетических потоков, подводимых к электромеханическим диспергаторам (ЭМД), позволяет рассматривать эти аппараты как усилители мощности. Для подтверждения представленных в статье теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования процесса механоактивации компонентов агроруд (кремнийсодержащих ингредиентов, добавляемых в рацион животных и птиц в количестве до 90%) на запатентованном авторами ЭМД с магнитоожигенным слоем ферротел. Для полноценного рациона кормления КРС и птицы в корме должен присутствовать кремнийсодержащий компонент агроруд (например, диатомит) и алюмосиликат, обладающий сорбционным, ионообменным, молекулярно-ситовым и каталитическим свойствами. Выявлено, что при механоактивации диатомита массовая доля частиц в диапазоне от 20 до 80 мкм возрастает в 2,1 раза по сравнению с использованием в аппаратурно-технологических схемах переработки агроруды традиционных механических мельниц. Достигается повышение реакционной способности частиц материала с интенсификацией таких технологических процессов, как адсорбция и растворение.

**Ключевые слова:** магнитоожигенный слой, механоактивация, усилитель мощности, агроруды

**Цитирование.** Волков В.С., Беззубцева М.М. Научное обоснование интенсификации процесса механоактивации материалов в магнитоожигенном слое ферротел // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С. 99–110. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-99-110

## SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MECHANICAL ACTIVATION OF MATERIALS IN THE MAGNETICALLY FLUIDIZED FERROTEL LAYER

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

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University», Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; vol9795@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3151-814X>

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

**Abstract.** Increasing the level of technological sovereignty of the processing industries of the agro-industrial complex is a priority direction for the development of the agricultural sector of the economy. At present, there is still a problem of the dependence of the production of ready-made feed mixtures on imported supplies of components introduced into the feed to increase its protein and energy value. Experts in the field have found that only 35% of the feed is balanced. Based on the analysis of the results of exploratory patent information studies, it was determined that one of the promising areas in this area is the mechanical activation of the processed material in apparatuses with a magnetically fluidized layer. The purpose of such systematic studies is to identify the conditions for the formation of the optimal field of force loads on the particles of a mechanically activated processed product. It has been established that an energy-intensive, multi-point and uniform field of force effects on the particles of the processed product with effective control of the physical and mechanical properties of the working process of transferring energy to the product layer can be achieved using apparatuses with a magnetically fluidized layer of ferrotels. It has been proven that the synergy of energy flows supplied to electromechanical dispersers (EMD) makes it possible to consider these devices as power amplifiers. To confirm the theoretical prerequisites presented in the

article, experimental studies of the process of mechanical activation of the components of agro-ores (silicon-containing ingredients added to the diet of animals and birds in an amount of up to 90%) were carried out on the patented by the authors EMD with a magnetically fluidized layer of a ferrotel. For a complete diet for feeding cattle and poultry, the feed must contain a silicon-containing component of agro-ore (for example, diatomite) and aluminosilicate, which has sorption, ion-exchange, molecular sieve and catalytic properties. It was found that during mechanical activation of diatomite, the mass fraction of particles in the range from 20 to 80 microns increases by 2.1 times compared with the use of traditional mechanical mills in the hardware and technological schemes for processing agro-ore. An increase in the reactivity of the particles of the material is achieved with the intensification of such technological processes as adsorption and dissolution.

**Keywords:** *magnetically fluidized layer, mechanical activation, power amplifier, agricultural ores*

**Citation.** Volkov, V.S., Bezzubtseva, M.M. (2023), Scientific substantiation of the intensification of the process of mechanical activation of materials in the magnetically fluidized ferrotel layer, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no. 1, pp. 99–110. (In Russ.)  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-99-110

**Введение.** В современных условиях проблематика импортозамещения с комплексным и системным подходом к решению задач повышения уровня технологического суверенитета производств АПК является приоритетным направлением развития аграрного сектора экономики. В отдельных случаях выпуск биотехнологической продукции пока еще находится в критической зависимости от импорта входящих в их состав ингредиентов, что недопустимо в настоящее время. Отраслевое развитие связано с поиском прорывных технологий и оборудования, основанных, прежде всего, на результатах фундаментальных теоретических и прикладных исследований ведущих научных школ российских ученых и работах коллективов сотрудников приоритетных научно-исследовательских институтов с созданием базового научно-обоснованного задела для дальнейших исследований. При этом, как показала практика, приоритетными являются исследования в рамках интеграции образование–наука–практика производства. Необходим инновационный подход при выборе направлений интенсификации процессов переработки сырья АПК, обеспечивающий как улучшение качества готовых изделий, так и решение важнейших задач повышения энергоэффективности всего цикла их производства.

Из всего многообразия предлагаемых в этой области технологий, как показали результаты комплексных поисковых патентно-информационных исследований, одним из приоритетных и перспективных направлений является механоактивация перерабатываемого материала в аппаратах с магнитооживленным слоем. Использование электрофизических методов в аппаратно-технологических системах переработки сырья в АПК с механохимическим воздействием на его компоненты априори позволяет целенаправленно управлять структурными свойствами самого материала и в результате получать более качественные ингредиенты и готовую продукцию с новыми заданными технологией производства физико-химическими свойствами в достаточно широких диапазонах и в конечном итоге на базе этих исследований решать одну из основных проблемных задач АПК — увеличение ассортимента биотехнологической продукции, выпускаемой отечественными предприятиями.

**Цель исследования** – выявление оптимальных силовых и энергетических условий для максимальной «накачки энергией» материалов под действием механических сил в диспергаторах.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Обоснование интенсификации процесса механоактивации материалов проведено на базе основополагающих теорий в области механо- и трибохимии, раскрывающих физико-химическую сущность активации поверхностей в процессах разрушения материалов под действием механических нагрузок, а также фундаментальной теории электромагнитной механоактивации в аппаратах с магнитоожигенным слое ферротел [1–8]. Используются экспериментально-статические методы исследований, метод высокоскоростного кинематографирования и аналитические методы дисперсионного анализа распределения частиц по фракционному составу. Объектом исследования являются физико-механические процессы в магнитоожигенном слое ферротел, обеспечивающие переход материала в механоактивированное состояние с минимальными энергозатратами и максимальной «энергетической накачкой» компонентов продукта в процессах его производства на предприятиях АПК.

**Результаты исследования.** В настоящее время создание прорывных технологий в науке становится возможным только на стыке фундаментальных исследований в различных областях знаний.

Решение поставленных в статье задач построено не на предметном, а на проблемном системном подходе — интеграции основных положений в области механоактивации материалов и комплексном изучении явлений электрофизических воздействий, реализуемых в аппаратах с магнитоожигенным слое ферротел.

Согласно теории механоактивации, при силовом воздействии в материале формируется поле напряжений с последующей релаксацией и трансформацией подведенной энергии как в тепловую, так и в энергию пластических деформаций, способствующих переходу вещества в метастабильное состояние, приводящее в конечном итоге к формированию дефектов структуры и дислокациям, по которым и происходит разрушение материала с образованием новых поверхностей — поверхностей, обладающих высокой реакционной способностью. От 10 до 20% подведенной энергии накапливается в материале в процессе механоактивации. Эта поверхностная энергия и используется для интенсификации широкого спектра процессов переработки сырьевой базы с получением продукции, обладающей новыми свойствами. Степень эффективности реализации этого процесса, т. е. готовности вещества (или, другими словами, степень его «энергетической накачки») к эффективной работе в системе, зависит, прежде всего, от используемого инструментария — типа измельчающего оборудования.

Из анализа теории процесса измельчения следует, что наиболее эффективным способом воздействия являются ударно-стирающие нагрузки, реализуемые на предприятиях отрасли в аппаратах механического принципа действия. К ним относятся различные конструкции молотковых и шариковых мельниц, дезинтеграторы. В последние годы большое распространение получили вибрационные диспергаторы, позволяющие в некоторой степени интенсифицировать процесс за счет увеличения частоты и амплитуды воздействия на частицы продукта со стороны рабочих размольных элементов (шаров) и создать достаточно равномерное многоточечное силовое воздействие на продукт. Между тем, как показал мониторинг этих аппаратов, качественный переход на энергоэффективный путь развития отрасли с их использованием затруднен в связи с высокими энергетическими потерями и

недостаточно эффективным управлением таким важным с технологической точки зрения показателем, как селективность частиц измельченного материала.

Чем тоньше помол, тем больше энергозатратность мельниц. Механическое разрушение частиц материала при тонком помоле сопровождается трением и сдвиговой деформацией. Между тем, именно при тонкой тонине продукта создаются наиболее благоприятные условия для «энергетической накачки» частиц материала. Увеличиваются удельная поверхность частиц и их кривизна, в результате значительно возрастает поверхностная энергия, способствующая интенсификации таких процессов, как растворение, адсорбция, кристаллизация и формирование биотехнологической продукции с новыми свойствами [9–12].

Эффективное управление с небольшими затратами мощности достигается путем использования энергии постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля. Формирование движения рабочих органов (например, ферромагнитных элементов шарообразной формы) с разностью скоростей в рабочем объеме достигается за счет использования приводного двигателя (рис. 1).

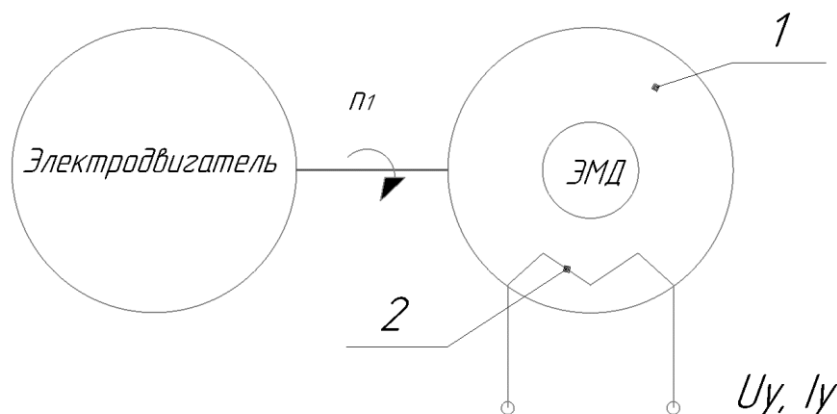


Рисунок 1. Схема электромеханического диспергатора: 1 — рабочий объем с ферромагнитными размольными органами; 2 — обмотка управления ЭМД;  $n_1$  — частота вращения электродвигателя

Figure 1. The scheme of the electromechanical dispersant: 1 — the working volume with ferromagnetic grinding organs; 2 — the EMD control winding;  $n_1$  — the motor speed

Индуктивность обмотки электромагнита  $L_{\varepsilon}(t)$  можно представить выражением:

$$L_{\varepsilon}(t) = L_{\varepsilon 0} + (K_{p\max} - K_{p\varepsilon})L_{\varepsilon}(t), \quad (1)$$

где  $K_{p\varepsilon}$  — степень заполнения рабочего объема ферродинамической средой;

$K_{p\max}$  — предельная степень заполнения ферродинамической средой;

$L_{\varepsilon 0}$  — индуктивность ОУ при предельном значении степени заполнения ( $K_{p\varepsilon} = K_{p\max}$ ).

Выражение для предельного значения степени заполнения рабочего имеет вид:

$$0 < K_{p\max} - K_{p\varepsilon} \ll 1. \quad (2)$$

Анализ выражения (2) показал, что составляющая  $(K_{p\max} - K_{p\varepsilon})L_{\varepsilon}(t)$  является переменной величиной.

При  $(K_{p\max} - K_{p\varepsilon})L_{\varepsilon}(t) \ll L_{\varepsilon 0}$ ,  $L_{\varepsilon}(t) \approx L_{\varepsilon 0}$  выражение (1) можно представить в виде:

$$L_{\varepsilon 0} \frac{di}{dt} + Ri = Uy. \quad (3)$$



В выражении (3)  $R$  и  $U_y$  – постоянные величины. Сила тока определена выражением  $I_y = U_y/R$ . А так как магнитное поле в рабочей камере пропорционально величине  $W_y I_y$  (где  $W_y$  — число витков ОУ), то при достаточно большом числе витков  $W_y$  электрический ток имеет малое значение. В этой связи мощность, затраченная на создание магнитного поля  $P_I = U_y I_y$ , и энергетический поток со стороны управляющей обмотки представляют собой пренебрежимо малые величины. При этом, как показала практика, величина силовых контактов между рабочими элементами в их магнитоожигенном слое значительно возрастает (примерно в 10 раз). Синергия энергетических потоков в электромеханических диспергаторах позволяет рассматривать эти аппараты как усилители мощности [13].

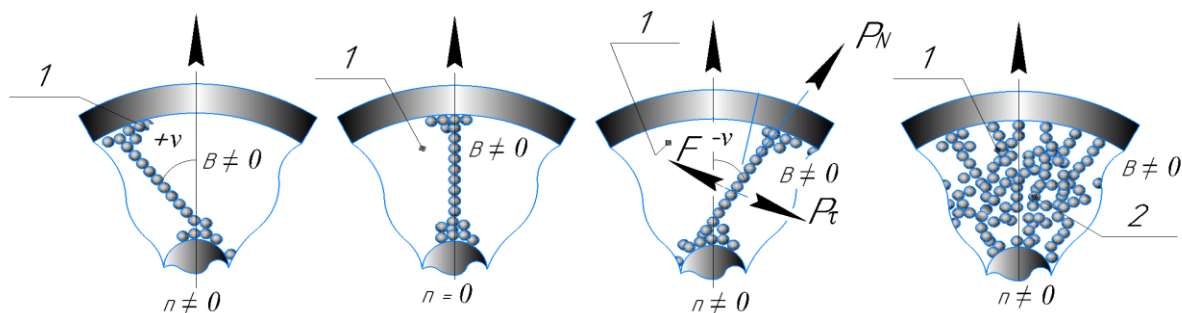


Рисунок 2. Стадии передачи энергии слою ферротел при формировании поля силовых нагрузок в рабочем объеме ЭМД: 1 — рабочий объем; 2 — магнитоожигенный слой из ферромагнитных размольных органов сферической формы;  $B$  — индукция электромагнитного поля;  $n$  — частота смещения рабочих поверхностей рабочего объема;  $v$  — угол наклона отдельных цепочек в ферродинамической среде;  $P_T$  — тангенциальная составляющая сил взаимодействия между ферромагнитными размольными органами;  $P_N$  — нормальная составляющая сил взаимодействия между ферромагнитными размольными органами ( $P_N = fP_N$ );  $F$  — сила, обязанная относительно смещению поверхностей рабочего объема с использованием электродвигателя или вращающегося магнитного поля

Figure 2. Stages of energy transfer to the ferrotel layer during the formation of the field of power loads in the working volume of the END: 1 — working volume; 2 — magnetically liquefied layer of ferromagnetic grinding bodies of spherical shape;  $B$  — electromagnetic field induction;  $n$  — displacement frequency of working surfaces of the working volume;  $v$  — angle of inclination of individual chains in a ferrodynamical medium;  $P_T$  — tangential component of the interaction forces between ferromagnetic grinding bodies organs ( $P_N = fP_N$ );  $F$  is the force due to the relative displacement of the surfaces of the working volume using an electric motor or a rotating magnetic field

Как уже отмечалось, для интенсификации процессов механоактивации материалов необходимо сформировать в рассматриваемых типах аппаратов поле силовых (разрушающих) нагрузок в виде ударных воздействий со сдвиговой деформацией, что обуславливает введение способа измельчения трением.

На рис. 2 изображены стадии передачи энергии слою ферротел в рабочих объемах ЭМД с формированием ударно-истирающих нагрузок в магнитоожигенном слое ферротел.

Указанный способ создания поля силовых нагрузок для интенсификации процессов механоактивации сухих порошкообразных продуктов реализован в конструктивной форме ЭМД (Патент РФ № 202025) (рис. 3).

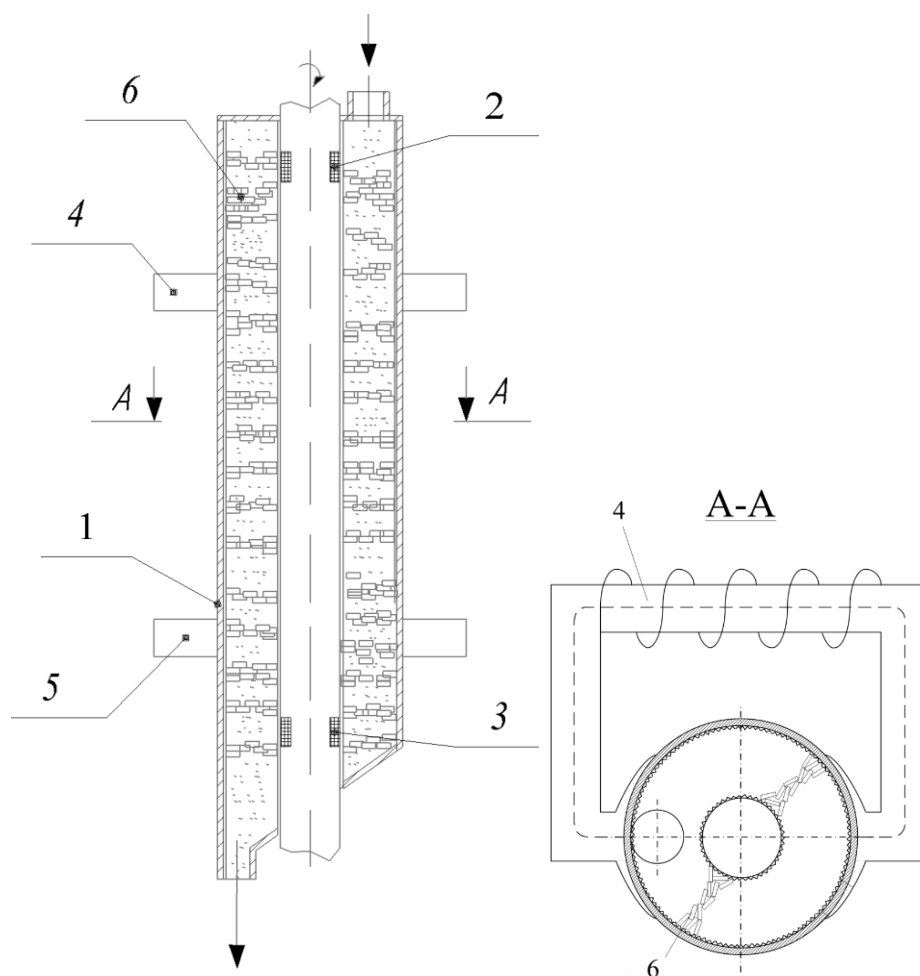


Рисунок 3. Электромеханический диспергатор для механоактивации порошковых материалов (Патент РФ 202025) 1 — рабочий объем; 2, 3 — кольцевые электромагниты с токовой обмоткой управления; 4, 5 — выносной подковообразный электромагнит с токовой обмоткой управления; 6 — ферромагнитные размольные органы

Figure 3. Electromechanical dispersant for mechanical activation of powder materials (RF Patent 202025) 1 — working volume; 2, 3 — ring electromagnets with current control winding; 4, 5 — remote horseshoe electromagnet with current control winding; 6 — ferromagnetic grinding organs

Экспериментальные исследования, выполненные на модели ЭДМ с регулируемой высотой рабочего объема, подтвердили, что доминирующим способом воздействия на частицы продукта являются процессы трения. В табл. 1, 2, 3 выборочно представлены результаты исследований в режимах работы ЭМД:  $B=0,4\text{Тл}$ ,  $n=24\text{с}^{-1}$ ,  $K_{p\text{max}}=0,35$ . Эксперимент проведен по методике [14] с учетом существования в зоне контакта четырех видов фрикционных связей [15; 16].

Таблица 1. Зависимость тангенциальной составляющей сил взаимодействия  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , н/м<sup>2</sup> между ферромагнитными элементами от высоты рабочего объема (h) при h=25 мм  
Table 1. Dependence of the tangential component of the interaction forces  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , N/m<sup>2</sup> between ferromagnetic elements on the height of the working volume (h) at h=25 mm

<b>В, Тл</b>	0,152	0,25	0,375	0,5	0,652	0,75	0,872	1,0	1,125
<b><math>P\tau \cdot 10^{-2}</math>, н/м<sup>2</sup></b>	0,8	1,4	2,0	2,5	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4

Таблица 2. Зависимость тангенциальной составляющей сил взаимодействия  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , н/м<sup>2</sup> между ферромагнитными элементами от высоты рабочего объема (h) при h=75 мм  
Table 2. Dependence of the tangential component of the interaction forces  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , N/m<sup>2</sup> between ferromagnetic elements on the height of the working volume (h) at h=75 mm

<b>В, Тл</b>	0,152	0,25	0,375	0,5	0,652	0,75	0,872	1,0	1,125
<b><math>P\tau \cdot 10^{-2}</math>, н/м<sup>2</sup></b>	0,5	1,1	1,5	2,0	2,5	2,8	3,3	3,6	3,9

Таблица 3. Зависимость тангенциальной составляющей сил взаимодействия  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , н/м<sup>2</sup> между ферромагнитными элементами от высоты рабочего объема (h) при h=150 мм  
Table 3. Dependence of the tangential component of the interaction forces  $P\tau \cdot 10^{-2}$ , N/m<sup>2</sup> between ferromagnetic elements on the height of the working volume (h) at h=150 mm

<b>В, Тл</b>	0,152	0,25	0,375	0,5	0,652	0,75	0,872	1,0	1,125
<b><math>P\tau \cdot 10^{-2}</math>, н/м<sup>2</sup></b>	0,4	0,8	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	2,6	2,9

Для подтверждения рассмотренных в статье положений об интенсификации процесса механоактивации материала путем формирования поля энергонапряженных управляемых разрушающих ударно-истирающих силовых воздействий в магнитооживленном слое ферротел были исследованы параметры процесса измельчения кормовых добавок — компонентов агроруд (диатомита) на ЭМД (рис. 4). Диатомит — это кремнийсодержащий ингредиент, добавляемый в рацион животных и птиц в количестве до 90 % [17–20]. Для решения аналитических задач механоактивации использован высокоточный анализатор Микросайзер 201А, позволяющий представлять результаты анализа в виде зависимости весовой доли частиц от их диаметра с выводом функций распределения частиц по размерам. Функции распределения измельченных частиц диатомита в ЭМД при различных режимах работы аппарата выборочно представлены на рис. 4.

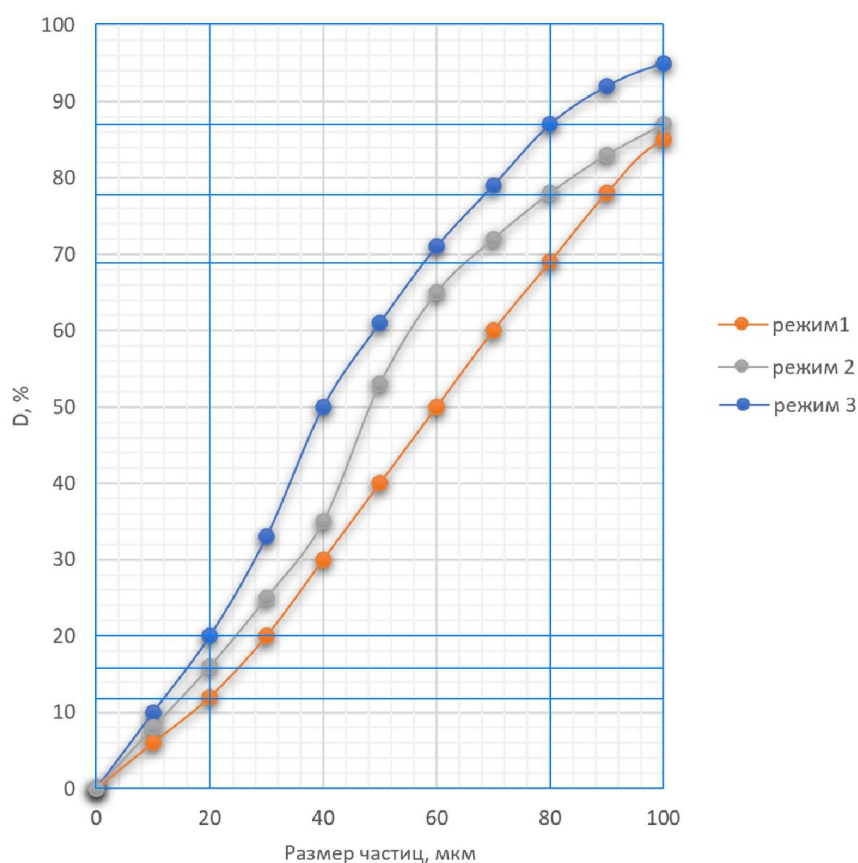


Рисунок 4. Функция распределения измельченных частиц диатомита в ЭМД при режимах работы: 1 –  $B = 0,2$  Тл;  $K_z = 0,3$ ;  $n = 20$  с<sup>-1</sup>; 2 –  $B = 0,35$  Тл;  $K_z = 0,33$ ;  $n = 22$  с<sup>-1</sup> 3–  $B = 0,4$  Тл;  $K_z = 0,35$ ;  $n = 24$  с<sup>-1</sup>

Figure 4. Distribution function of crushed diatomite particles in EMD under operating modes: 1 –  $B = 0.2$  Tl;  $K_z = 0.3$ ;  $n = 20$  c-1; 2 –  $B = 0.35$  Tl;  $K_z = 0.33$ ;  $n = 22$  c-1 3–  $B = 0.4$  Tl;  $K_z = 0.35$ ;  $n = 24$  c-1

Анализ экспериментальных данных показал, что механоактивация диатомита в магнитоожигенном слое ЭМД в режиме работы  $B = 0,4$  Тл;  $K_z = 0,35$ ;  $n = 24$ с<sup>-1</sup> позволяет получить продукт в заданном технологией [17–20] диапазоне дисперсности от 20 до 80 мкм. При этом массовая доля частиц в этом диапазоне составляет 68%. Вновь образованная поверхность увеличивается в 2,1 раза (по сравнению с результатами измельчения диатомита на традиционных механоактиваторах). Априори возрастает реакционная способность активированного в ЭМД продукта, что интенсифицирует процесс его переработки в готовую продукцию – кремнийсодержащий компонент кормовой добавки, входящей в рацион кормления животных и птиц.

**Заключение.** На основании аналитических исследований можно сделать вывод, что качественный переход на энергоэффективный путь развития перерабатывающих предприятий АПК с использованием традиционного механического оборудования затруднен в связи с высокими энергетическими потерями и недостаточно эффективным управлением таким важным с технологической точки зрения показателем, как селективность частиц измельченного материала. Выявлено, что энергонапряженное, многоточечное и равномерное поле силовых воздействий по частицам перерабатываемого продукта с эффективным управлением физико-механическими свойствами рабочего процесса передачи энергии слою

продукта можно достичь при использовании аппаратов с магнитоожигенным слоем ферротел. В результате исследований синергии энергетических потоков, подводимых к электромеханическим диспергаторам, доказано, что этот тип аппаратов является усилителем мощности. Величина силовых контактов между рабочими элементами в их магнитоожигенном слое значительно возрастает (примерно в 10 раз). В ЭМД частицы продукта механоактивируются многоточечными энергонапряженными ударно-стирающими воздействиями со стороны размольных тел – элементов магнитоожигенного слоя аппаратов. На основании анализа параметров процесса измельчения диатомита на ЭМД установлено, что частицы продукта имеют высокий показатель селективности в заданном технологией [17–20] диапазоне дисперсности от 20 до 80 мкм. Вновь образованная поверхность увеличивается в 2,1 раза (по сравнению с результатами измельчения диатомита на традиционных механоактиваторах). Значительно возрастает поверхностная энергия, что интенсифицирует реакцию способность кремнийсодержащего компонента в процессах производства кормовой добавки.

### Список источников литературы

1. Theoretical Studies of the Method of Electromagnetic Mechanical Activation / М.М. Bezzubceva, V.S. Volkov, N.Y. Krishtopa, M.A. Mastepanenko, S.Z. Gabrielyan: Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS, vol. 206) // The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. – 2021. – P. 981–989.
2. Беззубцева, М.М. Инновационные разработки научной школы «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов»: монография / М.М. Беззубцева, В.С. Волков. – СПб.: СПбГАУ, 2022. – 317 с.
3. Максвелл, Д. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля / Д. Максвелл. – М.: ЁЁ медия, 2015. – 823 с.
4. Fisher, H. Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism: The Central Argument / H. Fisher. – Santa Fe: Green Lion Press, 2014.
5. Donnevert, J. Maxwell's Equations / J. Donnevert. – 1 Auf. – Wiesbaden GmbH: Springer Fachmedien, part of Springer Nature, 2020. – 173 p.
6. Misbah, I. Simulation of magnetic dipole and dual stratification in radiative flow of ferromagnetic Maxwell fluid / I. Misbah, A. Muhammad. – Heliyon, 2019. – Vol. 5, issue 4. – e01465.
7. Гринес, В. З. Динамические системы и топология магнитных полей в проводящей среде / В.З. Гринес, Е.В. Жужома, О.В. Починка // Современная математика. Фундаментальные направления. – 2017. – Т. 63. – Вып. 3. – С. 455–474.
8. Лебедев, В.А. Сущность и закономерности динамики процесса обработки ферромагнитными гранулированными средами во вращающемся электромагнитном поле / В.А. Лебедев, Ю.М. Вернигоров, А.А. Кочубей // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 1 (52). – С. 84–91.
9. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии: измельчение и смешение: монография / В.В. Кафаров, Дорохов И.Н., Аругюнов С.Ю. – М.: Юрайт, 2018. – 441 с.
10. Новожинов, В. И. Механоактивация оксидных и слоистых материалов: монография / Новожинов В. И., Поляков П.В., Гильманшина Т.Р. и др. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 164 с.
11. Талако, Т.Л. Исследование механизма влияния механоактивации на самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов / Т.Л. Талако // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2014. – № 1. – С. 25–32.
12. Широков, Г.Ю. Механохимия. Теоретические основы / Г.Ю. Широков. – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет, 2015. – 214 с.
13. Беззубцева, М.М. Анализ эффективности способов измельчения шоколадных масс / М.М. Беззубцева, В.С. Волков, А.В. Котов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1. – С. 1160–1163.
14. Беззубцева, М.М. Методология исследований способа электромеханического диспергирования: монография / М.М. Беззубцева, В.С. Волков – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 191 с.
15. Пуговкин, П.Р. Модель образования сцепляющего усилия в ЭПМ / П.Р. Пуговкин, М.М. Беззубцева

- // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 1987. – № 10. – С. 91–95.
16. Ahmadian, H. Granule attrition by coupled particle impact and shearing / H. Ahmadian, M. Ghadiri // *Advanced Powder Technology*. – 2021. – 32 (1). – P. 204–210. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.001> (accessed 01.12.22).
17. Патент на полезную модель № 2669299 Российская Федерация. Биологически активная кормовая добавка для животных и птиц и способ ее изготовления; заявл. 22.11.2017; опубл. 09.10.2018 / М.П. Никифорова.
18. Патент на полезную модель № 2663014 Российская Федерация. Способ изготовления биологически активной кормовой добавки для животных и птиц; заявл. 14.08.2017; опубл. 01.08.2018 / М.П. Никифорова.
19. Measurement method for dispersion states of filler particles in particulate composite materials by macroscopic permittivity / K. Kushimoto, M. Moriyama, A. Shimosaka, Y. Shirakawa, J. Hidaka, S. Ishihara, J. Kano // *Advanced Powder Technology*. – 2020. – 32 (1). – P. 272–282. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.12.003> (accessed 01.12.22).
20. Современные корма для ценных объектов аквакультуры: новые кормовые источники протеина, решение проблемы замены рыбной муки / Пономарев С.В. и др. // *Инновационные решения для повышения эффективности аквакультуры: матер. Всерос. науч.- практ. конф. (ВДНХ, 5 февраля 2019 г.)*. – М.: Перо, 2019. – С. 305–309.

### References

1. Bezzubceva, M.M., Volkov, V.S., Krishtopa, N.Y., Mastepanenko, M.A., Gabrielyan, S.Z. (2021), *Theoretical Studies of the Method of Electromagnetic Mechanical Activation: Lecture Notes in Networks and Systems* (LNNS, vol. 206), *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems*, pp. 981–989, Springer International Publishing, Heidelberg.
2. Bezzubtseva, M.M., Volkov, V.S. (2022), *Innovacionny'e razrabotki nauchnoj shkoly` «Effektivnoe ispol'zovanie e`nergii, intensivifikaciya e`lektrotexnologicheskix processov»* [Innovative developments of the scientific school "Efficient use of energy, intensification of electrotechnological processes"], monograph, St. Petersburg, SPbGAU, 317 p. (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*, Santa Fe, Green Lion Press.
5. Donnevert, Jürgen (2020), *Maxwell's Equations*, vol. 1, Springer Fachmedien, part of Springer Nature, Wiesbaden GmbH.
6. Misbah, Ijaz, Ayub, Muhammad (2019), Simulation of magnetic dipole and dual stratification in radiative flow of ferromagnetic Maxwell fluid, *Helijon*, vol. 5, issue 4, e01465.
7. Grines, V.Z., Zhuzhoma, E.V., Pochinka, O.V. (2017), Dynamic systems and topology of magnetic fields in a conducting medium, *Sovremennaya matematika. Fundamental'ny'e napravleniya*, vol.63, pp. 455-474.
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), pp. 84–91. (In Russ.)
9. Kafarov V. V., Doroxov I.N., Arutyunov S. Yu. (2018), *System analysis of chemical technology processes: grinding and mixing: monograph*, Yurayt, Russia.
10. Novozhonov, V. I., Polyakov, P.V., Gil' manshina, T.R. (2015), *Mechanical activation of oxide and layered materials: monograph*, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.
11. Talako, T.L. (2014), Investigation of the mechanism of the influence of mechanical activation on self-propagating high-temperature synthesis of materials, *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of physical and technical sciences*, vol.1, pp. 25–32.
12. Shirokov, G.Yu. (2015), *Mekhanohimiya. Teoreticheskie osnovy* [Mechanochemistry. Theoretical foundations], Ivanovo State Chemical and Technological University, Ivanovo, Russia. (In Russ.)
13. Bezzubtseva, M.M., Volkov, V.S., Kotov, A.V. (2015), Analysis of the effectiveness of methods for grinding chocolate masses, *Successes of modern natural science*, no. 1, 1160–1163. (In Russ.)
14. Bezzubtseva, M.M., Volkov, V.S. (2021), *Metodologiya issledovaniy sposoba elektromekhanicheskogo dispergirovaniya: monografiya* [Methodology of research on the method of electromechanical dispersion: monograph], St. Petersburg, SPbGAU, 191 p. (In Russ.)
15. Pugovkin, P.R., Bezzubtseva, M.M. (1987), Model of bond force formation in EPC, *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika*, no 10, pp. 91–95. (In Russ.)

16. Ahmadian, H., Ghadiri, M. (2021), Granule attrition by coupled particle impact and shearing, *Advanced Powder Technology*, 32 (1), pp. 204–210, available: <https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.12.001> (accessed 01.12.22).
17. Patent RU 2669299 Rossijskaya Federaciya (2018), *Biologicheski aktivnaya kormovaya dobavka dlya zhivotny`x i pticz i sposob ee izgotovleniya* [Biologically active feed additive for animals and birds and the method of its manufacture], M.P. Nikiforova; 09.10.2018. (In Russ.).
18. Patent RU 2663014 Rossijskaya Federaciya (2018), *Sposob izgotovleniya biologicheski aktivnoj kormovoj dobavki dlya zhivotny`x i pticz* [Method of manufacturing biologically active feed additives for animals and birds], M.P. Nikiforova; 01.08.2018. (In Russ.).
19. Kushimoto, K., Moriyama, M., Shimosaka, A., Shirakawa, Y., Hidaka, J., Ishihara, S., Kano, J. (2020), Measurement method for dispersion states of filler particles in particulate composite materials by macroscopic permittivity, *Advanced Powder Technology*, 32 (1), pp. 272–282, available: <https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.12.003> (accessed 01.12.22).
20. 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*, Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (EANE, February 5, 2019), Moscow, Pero. (In Russ.)

#### 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 21.02.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2023; принята к публикации 27.03.2023*

*The article was submitted 21.02.2023; approved after reviewing 15.03.2023; accepted after publication 27.03.2023*

Научная статья

УДК 58.02: 573.7

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-111-119

## СПОСОБ БИОИНДИКАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОРФОЦВЕТОМЕТРИИ

Сергей Анатольевич Ракутько<sup>1</sup>, Елена Николаевна Ракутько<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «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>2</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](mailto:elena.rakutko@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

**Реферат.** Природные и антропогенные воздействия на экосистемы (в том числе агроэкосистемы) приводят их к критическому состоянию. Для изучения происходящих в них процессов необходима оценка состояния экосистем. Биоиндикация предоставляет возможность такой оценки при помощи признаков и свойств живых организмов. Цель исследования – разработка и экспериментальная проверка способа биоиндикации агроэкосистемы, основанного на использовании в качестве тестовых растений, выращиваемых в агроэкосистеме. Предложен способ биоиндикации агроэкосистем, заключающийся в следующем: определяют действия экологического фактора (в частности, дозы внесенного с органическим удобрением азота); для предварительных измерений на участках, различающихся уровнем действия экологического фактора, производят сбор листьев выращиваемых в агроэкосистеме растений; для получения первичных морфо-цветовых параметров листа фотографируют камерой смартфона; из полученных параметров выбирают два, отношение которых между собой (синтетический показатель) имеет максимальную амплитуду реакции на воздействие экологического фактора; находят калибровочное уравнение, связывающее уровень азота и величину синтетического показателя листьев растений определенного возраста; в основных измерениях производят отбор экземпляров растений; оценивают состояние агроэкосистемы на данном участке по величине внесенного азота, найденной по калибровочному уравнению; найденные значения вместе с файлом изображения листа и координатами данного участка в глобальной навигационной спутниковой системе размещают в облачном хранилище данных о биоиндикации агроэкосистемы. Способ апробирован на примере агроэкосистемы свекловичного поля в условиях органического севооборота. Полученные биометрические данные растений свеклы в период пучковой зрелости показали влияние доз органического удобрения на развитие растений. Предложенный способ биоиндикации повышает точность и достоверность получаемых результатов. Использование смартфона обеспечивает возможность определения морфо-цветовых параметров непосредственно на месте проведения исследований.

**Ключевые слова:** агроэкосистема, биоиндикация, растение, лист, компьютерная морфоцветометрия, ImageJ

**Цитирование.** Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Способ биоиндикации агроэкосистем с применением метода компьютерной морфоцветометрии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(70). – С.111–119.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-111-119



**METHOD FOR BIOINDICATION OF AGROECOSYSTEMS  
BASED ON COMPUTER MORPHO-COLORIMETRY****Sergei A. Rakutko<sup>1</sup>, Elena N. Rakutko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> FSBEI HE «Saint-Petersburg State Agrarian University», Petersburg Sh.,2, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia; sergej1964@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>

<sup>2</sup> Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Filtrovskoje Shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, 196625, Russia; elena.rakutko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

**Abstract.** Natural and anthropogenic impacts on ecosystems, including agroecosystems) lead them to a critical state. To study the processes occurring in them, it is necessary to assess the state of ecosystems. Bioindication provides the possibility of such an assessment using the signs and properties of living organisms. The aim of the study is the development and experimental verification of a method for bioindication of an agroecosystem, based on the use of test plants grown in an agroecosystem. The article describes a developed method for bioindication of agroecosystems. The method includes several steps. First, we determine the levels of an environmental factor. In our case, it is the dose of nitrogen introduced with the organic fertilizer. Then, we collect the plant leaves grown in the agroecosystems of the sites that differ in the action of selected environmental factor for preliminary measurements. To get the primary morpho-colorimetric parameters, we take the photos of the leaves with a smartphone camera. Out of obtained parameters we select the two, the relation between which (aggregate parameter) has the greatest response amplitude to the environmental factor. Next, we get a calibration equation that links the level of the introduced nitrogen and the value of the aggregate parameter of plant leaves of a certain age. For the basic measurements, we take the plant specimens and estimate the state of the agroecosystem on this site by the amount of nitrogen introduced that we find from the calibration equation. Then, we upload the obtained values, the leaf image file and the coordinates of the site according to a Global Navigation Satellite System to the cloud storage for the agroecosystem bioindication data. We have tested the method on the example of the agroecosystem of a table beet field with the organic crop rotation. The obtained biometric data of beet plants in the period of beam maturity showed the effect of organic fertilizer doses on plant development. The proposed method of bioindication increases the accuracy of the results and reliability. The use of a smartphone makes it possible to determine the morpho-color parameters directly at the site of the study.

**Keywords:** *agroecosystem, bioindication, plant, leaf, computer morpho-colorimetry, ImageJ*

**Citation.** Rakutko, S.A., Rakutko, E.N. (2023). Method for bioindication of agroecosystems based on computer morpho-colorimetry, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 70, no.1, pp. 111–119. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-111-119

**Введение.** Экосистемы непрерывно подвергаются как природным, так и антропогенным воздействиям различной силы, что может привести их к критическому состоянию [1]. Не исключением являются и агроэкосистемы, несмотря на их относительно упрощенную структуру и обедненный видовой состав, которые обусловлены требованиями к повышенной урожайности культивируемых растений. Оценка состояния экосистем является необходимым мероприятием по изучению происходящих в них процессов. Целостная картина текущего состояния экосистемы складывается из множества переменных окружающей среды, учет которых в полной мере инструментальными средствами практически невозможен. На

помощь здесь приходит биоиндикация, при которой используется явление взаимной коррелированности переменных состояния экосистемы.

Биоиндикацией называют оценку экологического состояния окружающей среды, экологических факторов и их динамики при помощи признаков и свойств самих экосистем, их биоты. Для этих целей составлены и пополняются списки индикаторных организмов – биоиндикаторов, по наличию которых, а также степени их развития, изменению морфологических, структурно-функциональных и других характеристик судят о состоянии экосистемы [2].

У растений ярко выраженными диагностическими признаками состояния являются их биометрические показатели. В качестве признаков используют как морфологические, отражающие форму и строение различных частей растения, так и неморфологические, в частности, физиологические или биохимические признаки, которые определяются количественным и качественным содержанием различных веществ в тканях растения и непосредственно взаимосвязаны с протекающими в растении процессами [3].

Обычно в качестве биоиндикаторов применяют многолетние древесные растения или древовидные кустарники. Однако потенциальные возможности оценки состояния агроэкосистемы значительно шире за счет использования различных биоиндикаторов [4].

Состояние агроэкосистемы формируется под влиянием различных условий и факторов, обусловленных природными процессами и хозяйственной деятельностью человека. Экологические факторы – это свойства среды обитания, определяющие условия метаболизма отдельных организмов и экосистемы в целом. Экологические факторы могут быть абиотическими, биотическими и антропогенными. Важнейшим антропогенным фактором для агроэкосистем является внесенная доза азотных удобрений. Оценка количества внесенного в почву азота важна как для обеспечения продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур, так и для экологичности среды. Избыток азота оказывает мощное дестабилизирующее воздействие на систему почва-растение, вызывая израстание или полегание растений, нитратно-нитритные токсикозы, загрязнение почв, продукции и грунтовых вод нитратами и нитритами, канцерогенными нитрозоаминами. В случае внесения повышенных доз азота, что нередко наблюдается на практике, у растений снижается иммунитет и они больше повреждаются грибковыми заболеваниями и всевозможными вредителями. При недостатке азота снижается урожайность культур и качество продукции, прежде всего содержание в ней белка, незаменимых аминокислот, многих витаминов, других биологически активных веществ (каротиноидов, флавоноидов, ферментов). Качество получаемой продукции, зависящее от уровня азотного питания, влияет на экономическую сторону применения азотных удобрений, поскольку стоимость их приобретения, транспортировки и внесения в настоящее время составляет до 30–40% от себестоимости продукции растениеводства.

Одной из самых распространенных овощных культур открытого грунта является столовая свекла. В технологии органического производства столовой свеклы исключено применение синтезированных препаратов. Восполнение питательных веществ, необходимых для роста растений, происходит за счет использования органических удобрений и агротехнических приемов, способствующих улучшению питания растений [5]. Выявлено влияние отдельных химических элементов в составе удобрений на ботанические характеристики свеклы. Азот оказывает выраженное влияние на рост и физиолого-химические

показатели урожая свеклы. Оптимальная доза удобрений будет различной для различных условий окружающей среды [6]. Таким образом, индикация содержания азота в агроэкосистеме свекловичного поля является актуальной.

Востребованным подходом для экологического мониторинга объектов окружающей среды является использование компьютерной морфо-цветометрии, позволяющей исследовать форму и цвет – важнейшие показатели биологических объектов [7]. Морфо-цветометрия позволяет получить целый набор отдельных величин (первичных показателей), из которых возможно комбинирование синтетического показателя, в наибольшей степени характеризующего влияние экологических условий на биоту [8].

**Цель исследования** – разработка и экспериментальная проверка способа биоиндикации агроэкосистемы, основанного на использовании в качестве тестовых растений, выращиваемых в агроэкосистеме.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Способ апробировали на примере свекловичного поля, входящего в систему органического севооборота (Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Способ биоиндикации агроэкосистемы свекловичного поля. Заявка на патент РФ № 2022122876. Заявл. 25.08.2022). Объектом для измерений были растения свеклы сорта «Двусемянная ТСХА» в различных возрастных состояниях (с интервалом 20 дней после появления всходов). Почва – дерново-подзолистая суглинистая окультуренная. До посева на опытные делянки вносили органическое удобрение БИОГУМ в различных дозах, от 0 (контроль) до 160 кг/га азота. Измерения вели в пятикратной повторности. Предшественник – картофель в шестипольном органическом севообороте. Погодные условия этого времени года: температура чуть выше средней многолетней, осадки – ниже среднего. С учетом производимого полива условия для развития растений в целом были благоприятные [9].

В лабораторных условиях предварительно исследовали морфо-цветовые параметры листьев свеклы, выращенных при различной внесенной дозе азота. Их изображения в электронной форме получали с помощью сканера Benq S2W 5000E. Для определения масштаба изображения в поле снимка одновременно с фотографированием листа помещали черный квадрат известного размера. Обработку файлов изображений вели с помощью программы ImageJ для операционной системы Windows XP [10]. С файла изображения получали морфо-цветовые параметры листьев (табл. 1). В качестве показателя амплитуды реакции на дозу внесенного удобрения по каждому показателю использовали отношения соответствующих величин для делянок: с максимальной дозой и контрольных.

Измерения вели для каждого листа растений свеклы в их различных возрастных состояниях.

При биоиндикации, в полевых условиях, на конкретном участке свекловичного поля с неизвестным состоянием азотного питания камерой смартфона Xiaomi M1805D1SG в масштабе делали снимки второго листа у растений свеклы в возрастном состоянии 40 дней после всходов. Одновременно с помощью смартфона фиксировали координаты участка в глобальной навигационной спутниковой системе.

Таблица 1. Морфо-цветовые параметры листьев  
Table 1. Morpho-colorimetric parameters of leaves

Параметр	Единица измерения	Комментарий
<i>Area</i>	см <sup>2</sup>	Площадь листа
<i>Perim</i>	см	Периметр контура листа
<i>Width</i>	см	Ширина ограничивающего (наименьшего) прямоугольника, охватывающего контур листа
<i>Height</i>	см	Высота ограничивающего (наименьшего) прямоугольника, охватывающего контур листа
<i>Circularity</i>	отн. ед.	Степень близости контура листа к окружности $Circ = 4\pi \cdot Area / Perim^2$ .
<i>Major</i>	см	Большая полуось эквивалентного эллипса
<i>Minor</i>	см	Малая полуось эквивалентного эллипса
<i>AR</i>	отн. ед.	Коэффициент формы $AR = Major / Minor$
<i>Roundness</i>	отн. ед.	Округлость $Round = 4 \cdot Area / \pi \cdot Major^2$
<i>Solidity</i>	отн. ед.	Компактность – отношение реальной площади поверхности листа к площади соответствующей выпуклой фигуры
<i>Feret</i>	см	Наибольшее расстояние между любыми двумя точками контура листа
<i>MinFeret</i>	см	Наименьшее расстояние между любыми двумя точками контура листа
<i>R, G, B</i>	отн. ед.	Координаты цветности пикселей изображения
<i>Mean</i>	отн. ед.	Взвешенное среднее значение серого всех пикселей изображения $Mean = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$
<i>StdDev</i>	отн. ед.	Стандартное отклонение от среднего значения серого

По изображению листа находили средние значения параметров *Area* и *Mean*, а также значения синтетического коэффициента  $S = Area / Mean$ . В соответствии с найденным калибровочным уравнением при известном возрастном состоянии *T* находили дозу внесенного при посеве удобрения азота *N* на данном участке. Найденную величину внесенного азота вместе с файлом изображения листа и координатами участка сохраняли в облачном хранилище данных о биоиндикации агроэкосистемы.

**Результаты исследования.** Полученные биометрические данные растений свеклы в период пучковой зрелости показали значимое влияние доз органического удобрения на развитие растений (рис. 1).

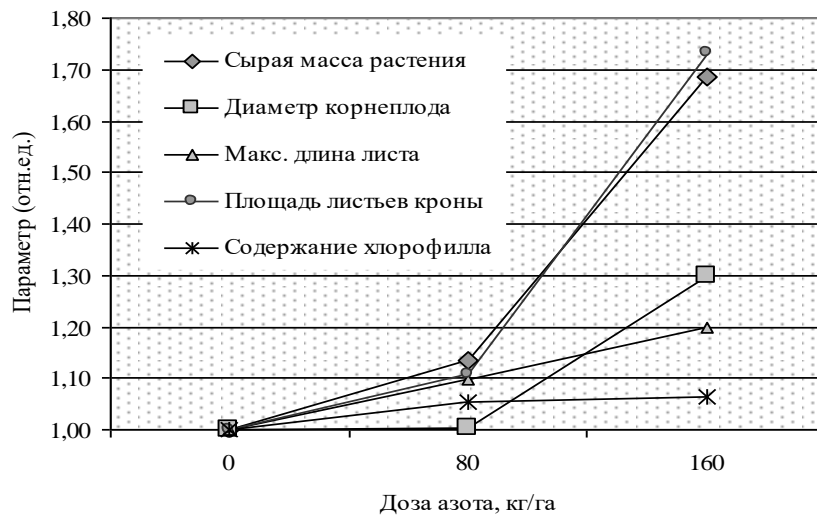


Рисунок 1. Биометрические параметры растений свеклы (средние значения)

Figure 1. Biometrics of beet plants (mean values)

На рис. 2 показаны амплитуды реакции на дозу внесенного азота по каждому морфо-цветовому показателю для второго листа растений свеклы в возрастном состоянии растений 40 дней после всходов (отсортированы в порядке уменьшения величины амплитуды реакции).

Был выбран второй лист, поскольку именно для него наблюдались наибольшие амплитуды реакции параметров. Наиболее чувствительным оказался показатель площади листа *Area*. Для увеличения амплитуды реакции вычислительными методами рациональным является использование синтетического показателя, вычисляемого как отношение измеряемых морфо-цветовых параметров, при этом значение параметра в числителе должно увеличиваться с увеличением дозы азота, а в знаменателе – уменьшаться. Показатели, представленные на рис. 2, позволяют сделать вывод: наибольшая амплитуда реакции – у параметра *Area*, следовательно, целесообразно принять его в качестве числителя формулы синтетического показателя. На роль знаменателя может быть принято несколько показателей. Из удобства измерений наиболее подходящим является показатель *Mean*.



Рисунок 2. Амплитуды реакции на дозу внесенного азота  
Figure 2. Amplitudes of response to the dose of applied nitrogen

Таким образом, проанализировав амплитуды реакции каждого параметра для каждого листа свеклы, в качестве синтетического показателя приняли удовлетворяющее этому требованию отношение площади листа  $Area$  к среднему значению серого  $Mean$  ( $S=Area/Mean$ ).

На рис. 3 показаны зависимости между дозой внесенного азота  $N$  и значением синтетического показателя  $S$  для растений свеклы в возрастных состояниях  $T = 20, 40$  и  $60$  дней после всходов (калибровочные зависимости).

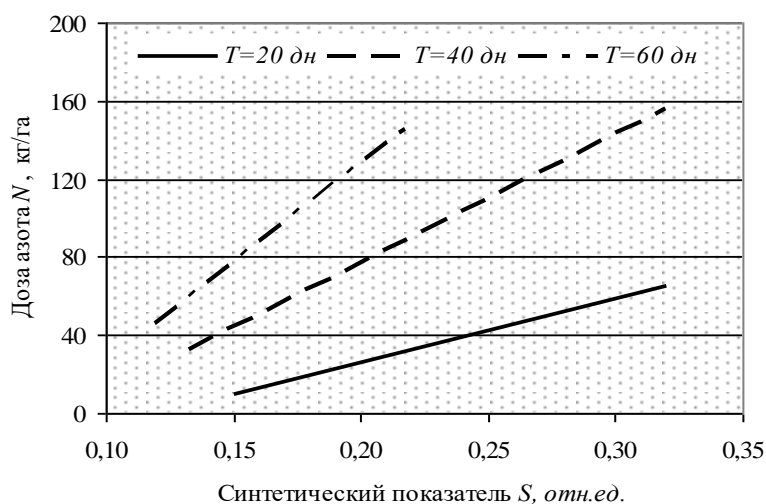


Рисунок 3. Калибровочные зависимости  
Figure 3. Calibration dependencies

Производя аппроксимацию связи величины дозы ( $N$ , кг/га) и синтетического показателя ( $S$ , см<sup>2</sup>/отн. ед.) для растений с различным возрастным состоянием ( $T$ , дн), нашли калибровочное уравнение

$$N = -20.6S - 0.9T + 17.2ST - 20.6 \quad (r^2 = 0.97).$$

Корреляционная связь между величиной переменных  $S$  и  $T$  дозой внесенного азота  $N$  достаточно высока. Полученное калибровочное уравнение позволяет определить внесенную при посеве дозу азота  $N$  по величинам  $S$  и  $T$ . В качестве примера для растений свеклы на некотором участке поля по изображению листа с помощью приложения для операционной системы Android получили средние значения параметров  $Area=17.63$  см<sup>2</sup> и  $Mean=87.20$  отн. ед. Значение синтетического коэффициента  $S=Area/Mean=0.20$  см<sup>2</sup>/отн. ед. Тогда в соответствии с найденным ранее калибровочным уравнением при  $T=40$  дн доза внесенного при посеве удобрения азота на данном участке составляет  $N = -20,6*0.20 - 0,9*40 + 17,2*0.20*40 - 20,6 = 76,7$  кг/га. Найденную величину внесенного азота вместе с файлом изображения листа и координатами участка можно сохранить в облачном хранилище данных о биоиндикации агроэкосистемы для построения общей картины распределения азота на поле.

**Выводы.** Агроэкосистемы как разновидность экосистем характеризуются множеством переменных, описывающих состояние, что затрудняет изучение происходящих в них процессов. Имеются все основания полагать, что оценка состояния агроэкосистемы возможна с помощью биоиндикации, при которой в качестве тест-растений используются целенаправленно выращиваемые в агроэкосистеме культуры. На примере свекловичного поля в работе рассмотрен способ биоиндикации агроэкосистемы. Полученные биометрические

данные растений свеклы в период пучковой зрелости показали влияние доз органического удобрения на развитие растений. В предложенном способе биоиндикации использование в качестве синтетического показателя отношения первичных морфо-цветовых параметров повышает точность получаемых результатов. Характеристика состояния агроэкосистемы по уровню азотного питания повышает достоверность биоиндикации. Использование смартфона (или устройства с аналогичным функционалом) обеспечивает возможность определения морфо-цветовых параметров непосредственно на месте проведения исследований, допускает возможность применения различных алгоритмов программы для обработки результатов измерения, сохранения результатов в облачном хранилище данных с привязкой к месту измерения, построения карт внесенных доз удобрения.

#### Список источников литературы

1. The Emergence and Evolution of Earth System Science / W. Steffen, K. Richardson, J. Rockstrom, H.J. Schellnhuber, O.P. Dube, S. Dutreuil, T.M. Lenton, J. Lubchenco // *Nature Reviews Earth & Environment*. – 2020. –1 (1). – P. 54–63.
2. Sperlea, T. A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems / T. Sperlea, D. Heider, G. Hattab // *Ecological Indicators*. – 2022. – 140 (May): 109050. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109050> (дата обращения: 20.12.2022).
3. Методы биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем: аналитический обзор / Е.Н. Ракутько, С.А. Ракутько, С. Цзянь, М. Ян // *АгроЭкоИнженерия*. – 2022. № 1 (110). – С. 19–42.
4. Ecosystems Monitoring Powered by Environmental Genomics: A Review of Current Strategies with an Implementation Roadmap / T. Cordier, L. Alonso-Saez, L. Apotheloz-Perret-Gentil et al. // *Molecular ecology*. – 2020. – June. 30 (13). – P. 2937–2958.
5. Романовский, Н.В. Возделывание столовой свеклы в органическом севообороте / Н.В. Романовский // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. – 2017. – № 93. – С. 48–53.
6. Kadam, V.D. Effect of different spacing and fertilizer levels on growth parameter and quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris L.*) / V.D. Kadam, S.J. Shinde, S.J. Syed // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. –2018. –7(5). – P. 2845–2848.
7. Leaf morpho-colorimetric characterization of different grapevine varieties through changes on plant water status / Gutiérrez-Gamboa G. et al. // *Horticulturae*. – 2021. –7(9): 315.
8. Кулик, К.Н. Новые возможности анализа листовых пластинок деревьев-биоиндикаторов в оценке состояния окружающей среды в условиях аридной зоны / К.Н. Кулик, А.С. Исаков, В.В. Новочадов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2021. – 1 (61). – P. 25–36.
9. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы органического севооборота при выращивании свеклы (*Beta Vulgaris L.*) / Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. // *АгроЭкоИнженерия*. – 2022. – № 3 (112). – С. 4–24.
10. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data / Rueden C. T. et al. // *BMC Bioinformatics*. – 2017.– 18(1).

#### References

1. Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Schellnhuber, H.J., Dube, O.P., Dutreuil, S., Lenton, T.M., Lubchenco, J. (2020), The Emergence and Evolution of Earth System Science, *Nature Reviews Earth & Environment*, no. 1 (1), pp. 54–63.
2. Sperlea, T., Heider, D., Hattab, G. (2022), A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems, *Ecological Indicators*, 140 (May): 109050, available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109050> (accessed 20.12.2022).
3. Rakutko, E.N., Rakutko, S.A., Jian, S., Yan, M. (2022), Methods of bioindicative assessment of the state of agroecosystems: an analytical review, *AgroEcoEngineering*, no. 1 (110), pp. 19–42.

4. Cordier, T., Alonso-Saez, L., Apotheloz-Perret-Gentil, L. et al. (2020), Ecosystems Monitoring Powered by Environmental Genomics: A Review of Current Strategies with an Implementation Roadmap, *Molecular ecology*, June 30 (13), pp. 2937–2958.
5. Romanovsky, N.V. (2017), Cultivation of table beet in organic crop rotation, *Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products*, no. 93, pp. 48–53.
6. Kadam, V.D., Shinde, S.J., Syed, S.J. (2018), Effect of different spacing and fertilizer levels on growth parameter and quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris L.*), *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, no. 7(5), pp. 2845–2848.
7. Gutierrez-Gamboa G. et al. (2021), Leaf morpho-colorimetric characterization of different grapevine varieties through changes on plant water status, *Horticulturae*, no. 7(9): 315.
8. Kulik, K. N., Isakov, A. S., Novochadov, V. V. (2021), New opportunities for the analysis of leaf blades of bioindicator trees in assessing the state of the environment in an arid zone, *Izvestiya NV AUK*, no. 1(61), pp. 25–36.
9. Rakutko, S.A., Mishanov, A.P., Rakutko, E.N., Markova, A.E. (2022), Bioindicative assessment of the state of the agroecosystem of organic crop rotation in the cultivation of beets (*Beta Vulgaris L.*), *AgroEcoEngineering*, no. 3 (112), pp. 4–24.
10. Rueden, C. T. et al. (2017), ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data, *BMC Bioinformatics*, no. 18(1).

#### Сведения об авторах

**Ракутько Сергей Анатольевич** – доктор технических наук, главный научный сотрудник кафедры энергообеспечения предприятий и электротехнологий Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, главный научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, spin-код: 5103-4590.

**Ракутько Елена Николаевна** – научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, spin-код: 1427-3360.

#### Information about the authors

**Sergei A. Rakutko** – DSc (Engineering), chief researcher of Department of Energy Supply of Companies and Electrical Technologies, Saint-Petersburg State Agrarian University; chief researcher of 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.

**Elena N. Rakutko** – researcher of 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.

**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 21.11.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2023;  
принята к публикации 27.03.2023  
The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after  
publication 27.03.2023



## Требования к научным статьям, публикуемым в журнале «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета»

### Уважаемые коллеги!

Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом издается журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета». С 2007 года журнал включен в утвержденный ВАК Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, где публикуются основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора или кандидата наук, а также в базу данных международной информационной системы AGRIS, в библиографическую базу данных – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на официальном сайте ФГБОУ ВО СПбГАУ. Подписной индекс – ВН 017771. Статьям присваивается DOI (цифровой идентификатор объекта).

В журнале публикуются статьи по следующим группам специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство; 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология; 4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений; 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры;
- 4.2. Зоотехния и ветеринария: 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства; 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных;
- 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса; 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

**Основные требования к статьям**, предоставляемым для публикации в журнале:

1. Статья должна соответствовать основным научным направлениям журнала, а также содержать результаты научных исследований, теоретические, практические (инновационные) разработки, готовые для использования и являющиеся актуальными на современном этапе научного развития.

2. Размер текста статьи должен составлять 7-10 страниц на листах А4, шрифт Times New Roman, шрифт 14, межстрочный интервал – 1,5.

3. В 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 ГОСТ Р 7.0.100-2018. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте (в порядке цитирования). Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например [1].

4. Поступившие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование и проверяются на заимствования по программе «Антиплагиат».

5. Стоимость журнала для сторонних авторов – 550 руб. (1 стр.).

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

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 1 (70)

Подписано к печати 30.03.2023.  
Формат 60×84 1/8. П.л. 15. Тираж 1000. Заказ 255.  
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов  
в Издательско-полиграфическом комплексе  
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета  
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2