

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 4 (69)



**IZVESTIYA
SAINT-PETERSBURG STATE
AGRARIAN UNIVERSITY**

2022

ИЗВЕСТИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 (69)



IZVESTIYA

SAINT-PETERSBURG STATE
AGRARIAN UNIVERSITY

2022

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ежеквартальный научный журнал
№ 4 (69)

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

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

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

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

IZVESTIYA SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY

quarterly scientific journal
№ 4 (69)

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

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

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

Published since 2004

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

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ежеквартальный научный журнал
№ 4 (69)

Главный редактор
Морозов Виталий Юрьевич
Доктор ветеринарных наук, ректор

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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**

QUARTERLY ISSUED SCIENTIFIC JOURNAL

№ 4 (69)

Editor-in-Chief

Morozov Vitaliy Yurievich

Doctor of Veterinary Sciences, Rector

Deputies Editor-in-Chief

Kolesnikov Roman Olegovich

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

Executive Secretary

Candidate of Economic Sciences

Dementeva Anastasiia Aleksandrovna

Executive Journal Editor

Zhukova Elena Evgenevna

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ

Найда Н.М. Биоэкологические особенности <i>Silybum marianum</i> в условиях Ленинградской области	9
Атрощенко Г.П., Безух Е.П., Асир Н. Эффективность размножения клоновых подвоев яблони Мичуринского ГАУ одревесневшими черенками.....	21
Никулин А.Б., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф. Луговые агроценозы на основе разных сортов козлятника восточного	29
Коршунова Н.А., Баланов П.Е., Смотряева И.В. Разработка синбиотического продукта питания на основе технологий, улучшающих комплексность переработки пожнивно-корневых остатков подсолнечника	37
Родичева Т.В., Гамзаева Р.С., Ивахнова О.Ф. Активность фосфатазы, уреазы и инвертазы в дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве под борщевиком Сосновского	47
Лаврищева Т.А. Влияние сроков посева на биометрические показатели и биохимический состав растений эндивия (<i>Cichorium endivia L.</i>), выращенного в весенне-летнем обороте	56
Киселёв М.В., Фрейдкин И.А., Ягло М.А. Эффективность применения препаратов «Fiba Zorb» и «Клеон АМ» для увеличения водопоглощающей способности верхового торфа.....	66
Манакова Ю.С., Манаков П.С. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разными фракциями доломитовой крошки на изменение гидrolитической кислотности по профилю	75
Салаев И.В., Царенко В.П. Экономическая эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ	84
Щербакова Г.В., Иванова Т.А. Подбор сортов ремонтантной малины для Ленинградской области.....	92
Клятышева А.И., Лаврищев А.В. Использование геоинформационных систем при изучении почвенного покрова учебно-опытного сада СПбГАУ	101
Пинаева А.С., Ельшаева И.В. Влияние осадка сточных вод на накопление Pb, Cd в системе почва-растение	113

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

Бевз С.Я., Тошкина Е.А. Структура посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера.....	122
Хайрулламин Б., Морозов В.Ю., Складов С.П. Изучение микробиома рубца коров методом NGS-секвенирования	131
Санганаева А.В., Тайгунов М.Е. Анализ хозяйственно-полезных признаков лошадей верховых пород конного завода «Георгенбург».....	139

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Шушков Р.А., Смелик В.А., Перекопский А.Н. Исследование первичной переработки лубяных культур с повышенной влажностью	149
Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Тягово-энергетический расчет орудия для внутрпочвенного внесения органических удобрений	158
Черных А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения с механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами	171

CONTENTS

AGRONOMY

Naida N.M. Bioecological features of <i>Silybum marianum</i> in the conditions of the Leningrad region.....	9
Atroshchenko G.P., Bezukh E.P., Asir N. Propagation efficiency of apple tree clonal rootstocks of Michurinskiy GAU by woody cuttings.....	21
Nikulin A.B., Kokorina A.L., Ganusevich F.F. Meadow agrocenoses based on different varieties of eastern goat's-rue.....	29
Korshunova N.A., Balanov P.E., Smotraeva I.V. Development of a symbiotic food product based on technologies improving the complexity of processing sunflower crop and root residues	37
Rodicheva T.V., Gamzaeva R.S., Ivakhnova O.F. Phosphatase, urease and invertase activity in soddy-weakly podzolic medium loamy soil under Sosnovsky's hogweed.....	47
Lavrishcheva T.A. Sowing time influence on biometric indicators and biochemical composition of endive plants (<i>Cichorium endivia L.</i>), grown in spring-summer rotation	56
Kiselev M.V., Freidkin I.A., Iaglo M.A. Effectiveness of "Fiba Zorb" and "Kleon Am" for increasing the water-absorbing capacity of upland peat.....	66
Manakova Y.S., Manakov P.S. The effect of liming of sod-podzolic light loamy soil by different fractions of dolomite crumbs on the change in hydrolytic acidity along the profile.....	75
Salaev I.V., Tsarenko V.P. Economic efficiency of using raw-grounded dolomite screening as an improvement on soddy-podzolic soils of the North-West of the Russian Federation.....	84
Scherbakova G.V., Ivanova T.A. Selection of remontant raspberry varieties for the Leningrad region	92
Kliatysheva A.I., Lavrishchev A.V. The use of geoinformation systems in the study of the soil cover of the educational and experimental garden of SPbSAU	101
Pinaeva A.S., Elshaeva I.V. The effect of sewage sludge on the accumulation of Pb, Cd in the soil-plant system.....	113

VETERINARY MEDICINE AND ANIMAL SCIENCE

Bezv S.Y., Toshkina E.A. Structure of sowing area in the system of resource-saving raw material conveyor	122
Khairullamin B., Morozov V.Yu., Sklyarov S.P. Study of the rumen microbiome of cows by NGS sequencing	131
Sanganaeva A.V., Taigunov M.E. Analysis of economically useful features of riding horses breeds of the stud farm "Georgenburg"	139

PROCESSES AND MACHINES OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

Shushkov R.A., Smelik V.A., Perekopsky A.N. Investigation of primary processing of bast crops with increased humidity	149
Panov A.I., Aldoshin N.V., Manokhina A.A., Semin V.V. Traction and energy calculation of implement for intra-soil application of organic fertilizers	158
Chernykh A.G. Structure and composition of a closed irrigation system with mechanical water lifting and irrigation by wide-reach circular sprinkler machines.....	171

Научная статья
УДК 58:633.8
doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-9-20

**БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *SILYBUM MARIANUM* В УСЛОВИЯХ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Надежда Михайловна Найда

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

Реферат. Расторопша пятнистая – *Silybum marianum* (L.) Gaertn. из семейства астровых (Asteraceae) имеет средиземноморское происхождение. Она распространена в южных регионах. Издавна расторопшу использовали как лекарственное растение для поддержания и стимулирования работы печени. Лекарственным сырьем являются плоды расторопши. Она включена в Государственную фармакопею России XIII и XIV изданий. В настоящее время расторопшу широко выращивают в Поволжье, на юге и в центральной России. Плоды расторопши содержат жирное масло, витамины группы, протеины, клетчатку, моно- и дисахариды, микроэлементы и макроэлементы. Основными действующими веществами являются флаволигнаны. Жирное масло используется в медицине, пищевой и косметической промышленности, оно имеет антиоксидантное, противовоспалительное, ранозаживляющее действие. Надземную часть растения можно использовать на корм животным. Кроме того, расторопша является хорошим медоносом. Быстрое изменение климата позволяет продвигать выращивание некоторых лекарственных растений, в том числе и расторопши, на север и северо-запад России.

Цель исследования – изучение биологических и экологических особенностей расторопши пятнистой сорта Дебют и ее продуктивности в условиях Ленинградской области. Изучение проводили в 2010–2011, 2022 гг. Посев в 2022 г. был сделан семенами, собранными в питомнике лекарственных растений СПбГАУ в 2020 г. Были изучены длительность фенологических фаз, сроки их наступления, подсчитаны среднесуточные температуры и суммы осадков за межфазные периоды, проведен сравнительный анализ. Выявлено изменение структурных и морфологических показателей растений в разные годы. Установлено, что уровень продуктивности расторопши в разные годы составлял от 17,86 до 28,45 г/растение. Урожайность может достигать 170,7 г/м². Таким образом, в условиях Ленинградской области растения расторопши пятнистой успешно растут и развиваются, формируют фертильные плоды, значительная часть которых успевает вызреть.

Ключевые слова: расторопша пятнистая, фенологические фазы, плоды, семена, урожайность плодов, продуктивность

Цитирование. Найда Н.М. Биоэкологические особенности *Silybum marianum* в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 9–20. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-9-20.

BIOECOLOGICAL FEATURES OF *SILYBUM MARIANUM* IN THE CONDITIONS OF THE LENINGRAD REGION

Nadezhda M. Naida

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

Abstract. Milk thistle – *Silybum marianum* (L.) Gaertn. from the aster family (Asteraceae) has a Mediterranean origin. It is common in the southern regions. Milk thistle has long been used as a medicinal plant to maintain and stimulate the liver. Medicinal raw materials are milk thistle fruits. It is included in the State Pharmacopoeia of Russia of the XIII and XIV editions. Currently, milk thistle is widely grown in the Volga region, in the south and in central Russia. Milk thistle fruits contain fatty oil, vitamins, proteins, fiber, mono- and disaccharides, trace elements and macroelements. The main active substances are flavolignans. Fatty oil is used in medicine, food and cosmetic industry, has antioxidant, anti-inflammatory, wound healing effect. The aboveground part of the plant can be used for animal feed. In addition, milk thistle is a good honey plant. Rapid climate change makes it possible to promote the cultivation of some medicinal plants, including milk thistle, to the north and northwest of Russia. The purpose of the research is to study the biological and ecological characteristics of milk thistle of the spotted variety Debut and its productivity in the conditions of the Leningrad region. The study was conducted in 2010-2011, 2022. Sowing in 2022 was done with seeds collected in the nursery of medicinal plants of SPbSAU in 2020. The duration of phenological phases and the timing of their onset were studied, the average daily temperatures and precipitation amounts for interphase periods were calculated, and a comparative analysis was carried out. The changes in the structural and morphological parameters of plants in different years were revealed. It was found that the level of milk thistle productivity in different years ranged from 17,86 to 28.45 g/plant. The yield can reach 170.7 g/m². Thus, in the conditions of the Leningrad region, milk thistle plants successfully grow and develop, form fertile fruits, a significant part of which has time to ripen.

Keywords: milk thistle, phenological phases, fruits, seeds, fruit yield, productivity

Citation. Naida, N.M. (2022), "Bioecological features of *Silybum marianum* in the conditions of the Leningrad region", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 9–20. (In Russ.). doi: 10/24412/2078-1318-2022-4-9-20.

Введение. Данная статья является продолжением серии работ по изучению и выращиванию расторопши пятнистой в условиях Ленинградской области (Найда Н.М., 2012), [1]. Расторопша пятнистая (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) относится к семейству астровых (*Asteraceae*), народные названия: чертополох Марии, молочный чертополох, колючник, лягушечник, остро-пёстро, марьин чертополох, татарник серебристый. Родовое название *Silybum* – это латинизированное греческое слово «silybon», что означает кисточка, так называлось растение у Плиния и Диоскорида. Латинский видовой эпитет *marianum*

происходит от имени Девы Марии: капли ее молока, согласно легенде, оставили белые пятна на листьях растения [2].

Родина этого растения – Южная Европа, древнее Средиземноморье. В диком виде она распространена в Северной Африке, южной и центральной Европе, в Малой и Средней Азии, на юге Северной Америки и других регионах. На Кавказе и на юге России, в Поволжье, на юге Западной Сибири расторопша является сорняком, растет на пустырях, заброшенных полях, вдоль дорог, железнодорожных насыпей, предпочитает сухие и солнечные места (Флора СССР, 1963; Иллюстрированный определитель Ленинградской области, 2006).

Издавна расторопшу использовали как лекарственное растение для поддержания и стимулирования работы печени, в Древнем Риме ее применяли при отравлениях. Сейчас расторопшу широко культивируют в Европе, она включена в Государственную фармакопею России XIII и XIV изданий и многих стран мира, из нее готовят десятки препаратов. Лекарственным сырьем являются плоды расторопши – *Fructus Silybi mariani*. В народной медицине используются не только плоды растения, но и листья, корни. Расторопша применяется в гомеопатии [2].

Всестороннее изучение расторопши в России как лекарственного растения началось с 1975 г. В результате были изучены ее химический состав, фармакологические свойства, экологические особенности, выведены продуктивные сорта Дебют, Самарянка, Надежда. В связи с тем, что в России нет больших природных ресурсов расторопши, удовлетворить потребность в ней для комплексного использования можно только за счет культивирования растения. В связи с этим были разработаны экологически безопасные технологии ее возделывания, предполагающие применение нетрадиционных органических удобрений, гуминовых препаратов, фиторегуляторов и др. В настоящее время расторопшу широко выращивают в Поволжье, на юге и в центральной России [3; 4].

Плоды расторопши содержат жирное масло, витамины группы В, А, D, Е, К, F, протеины, клетчатку, моно- и дисахариды, микроэлементы – медь, цинк, селен, макроэлементы – кальций, калий, магний, фенольные соединения, эфирное масло, пищевые волокна, ферменты, слизи и другие соединения. Основными действующими веществами являются флаволигнаны, запасющиеся в перикарпии плодов: силибин, силидианин, силихристин и др. Флаволигнановый комплекс обеспечивает «помимо гепатопротекторного эффекта противовоспалительное, антисклеротическое, противofiброзное, а также противоопухолевое действие» [5; 6]. Препараты расторопши применяют как защищающее печень средство при лечении острых и хронических гепатитов, цирроза и других заболеваний. Жирное масло – продукт комплексной переработки плодов расторопши. Оно используется в медицине, пищевой и косметической промышленности, имеет антиоксидантное, противовоспалительное, ранозаживляющее действие, а также способствует образованию эпителия. Однако «не до конца решенной остается проблема стандартизации масла расторопши пятнистой, связанная с недостаточной изученностью его жирнокислотного состава» [7–11].

Некоторые авторы полагают, что надземная часть растения содержит достаточное количество биологически активных соединений и также может быть использована в медицине и при создании функциональных пищевых продуктов. Для этого необходимо решение проблемы стандартизации травы расторопши [6; 12].

Расторопша пятнистая является не только лекарственным, но и ценным кормовым растением. Надземная часть содержит комплекс жирных полиненасыщенных кислот, жирорастворимые витамины, флаволигнаны, токоферолы, фосфолипиды и другие соединения. Учитывая высокое содержание питательных и биологически активных веществ, предлагается использовать надземную часть растения для кормления высокопродуктивных коров (Рыжков И.В., 2013).

Кроме того, расторопша пятнистая считается хорошим позднелетним медоносом, ее медопродуктивность составляет 50–70 кг/га. И чем больше пчелы посещают корзинки

расторопши, собирая нектар и пыльцу, тем выше будет урожайность плодов. Расторопша обладает декоративными свойствами и применяется для создания непроходимых живых изгородей и живописных миксбордеров (Поспелов С.В. и др., 2008)

По мнению многих авторов, расторопша относится к растениям с широкой экологической амплитудой. Она считается засухоустойчивым растением, однако длительный недостаток влаги приводит к снижению урожайности плодов, в то же время расторопша не любит и переувлажнения почвы. Она светолюбива, предпочитает оптимально высокие температуры, но может выдержать кратковременные весенние заморозки [4–6].

В культуре расторопша растет как однолетнее растение, а в диком виде – как двулетник. Высота растений зависит от условий произрастания и колеблется от 60 см до 1,5 м. Листья у нее перисто-лопастные, темно-зеленые с белыми пятнами, по краю и по жилкам колючие. Нижние листья образуют укороченный розеточный побег. Трубочатые цветки имеют розово-лиловую окраску, собраны в шаровидные корзинки, листочки обертки черепитчатые, зеленые, несут длинные колючки. Плоды – семянки, имеют коричневую окраску и хохолок.

Стремительное изменение климата позволяет продвигать выращивание некоторых лекарственных растений, в том числе и расторопши, на север и северо-запад России. Вместе с тем разработанные рекомендации по технологии возделывания расторопши пятнистой для Поволжья, центральной и южной части РФ могут оказаться неподходящими для Ленинградской области. Поэтому изучение уровня продуктивности, особенностей роста и развития расторопши в новых условиях позволит говорить о перспективности возделывания ее в Ленинградской области.

Цель исследования – изучить биолого-экологические особенности расторопши пятнистой и ее продуктивность в условиях Ленинградской области.

Материалы, методы и объекты исследований. Расторопшу пятнистую сорт Дебют изучали в питомнике лекарственных и эфирномасличных растений СПбГАУ. Почвенная характеристика и подробная агротехника возделывания была изложена в предыдущих статьях, при этом использовали рекомендации ВНИИЛАР (Атлас лекарственных растений, 2006). Посев обычно проходил в I – начале II декады мая, глубина заделки семян 2–3 см. В 2022 г. посев провели 11 мая семенами, собранными в 2020 г. в питомнике лекарственных растений СПбГАУ. Лабораторная всхожесть семян была 83,1%. С посевом семян вносили фосфорные удобрения, подкормку азотом в дозе N_{30} по действующему веществу проводили в фазу 3 пар настоящих листьев. Расстояние между рядками – 70 см, между растениями – 35–40 см. Уход за растениями включал прополку и рыхление почвы. Выделяли следующие фенологические фазы: всходы, появление двух настоящих листьев, формирование укороченного розеточного побега, ветвление главного побега, бутонизация, цветение, созревание плодов. Изучение плодообразования проводили по методике Р.Е. Левиной (Методические указания по семеноведению интродуцентов, 1980).

Подробный анализ метеоданных Ленинградской области показывает, в каких условиях произрастала расторопша на северо-западе России (табл.1). Из общих характеристик необходимо отметить следующие. Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше $+5^{\circ}\text{C}$, определяющая сроки сева и уборки сельскохозяйственных культур, составляет в Ленинградской области 160–170 дней. Среднегодовая сумма осадков – 550–560 мм. Среднесуточная температура выше 0°C устанавливается, как правило, в начале апреля, а к концу месяца достигает $+5^{\circ}\text{C}$, к середине мая – $+10^{\circ}\text{C}$. Средняя дата окончания последнего заморозка весной – 15 мая, а первого осеннего – 30 сентября. Сумма активных температур больше $+5^{\circ}\text{C}$ равна 2000–2200 $^{\circ}\text{C}$; больше $+10^{\circ}\text{C}$ – 1600–1800 $^{\circ}\text{C}$.

В 2010–2011 гг. среднемесячные температуры воздуха были выше климатической нормы на 3°C . В 2010 г. самыми влажными были июнь и август, а самым теплым – июль. Сумма осадков в июле, августе и сентябре 2011 г. значительно превышала средние многолетние показатели. Таким образом, условия вегетационных периодов 2010–2011 гг. были вполне благоприятными для роста и развития расторопши пятнистой.

Таблица 1. Погодные условия Пушкинского района в годы исследований
Table 1. Weather conditions of the Pushkin district during the years of research

Метео-показатели/ Годы	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Среднедекадная температура воздуха, °С															
2010	10,2	17,7	13,4	13,9	15,3	18,2	22,0	24,8	25,3	24,8	19,7	14,5	12,3	13,8	10,7
2011	7,7	13,0	14,4	18,9	16,9	17,6	22,6	21,1	23,3	17,9	17,4	17,9	14,7	13,3	11,8
2022	8,4	9,5	13,3	16,1	15,8	21,1	21,5	18,1	22,1	18,8	22,2	20,2	9,5	12,1	8,5
Средняя много-летняя, °С	7,4	9,2	11,1	12,8	14,1	15,4	16,4	17,0	17,0	16,3	15,2	13,7	11,9	10,0	8,2
Сумма осадков по декадам, мм															
2010	36,0	11,4	37,0	13,0	39,0	94,0	9,0	6,0	15,0	10,0	15,0	63,0	36,0	11,0	0
2011	11,8	11,4	27,5	0	27,0	15,1	2,2	51,2	44,5	7,9	41,4	22,5	32,7	34,6	29,4
2022	3,4	18,6	8,6	17,7	27,3	2,0	19,6	141,1	14,8	79,0	0	62,9	19,0	27,1	20,5
Средняя много-летняя, мм	17,0	17,0	17,0	24,0	25,0	25,0	25,0	24,0	24,0	30,0	30,0	30,0	23,0	23,0	3,0

Среднесуточные температуры мая 2022 г. оказались ниже климатической нормы. Июнь был чуть теплее средних многолетних значений. Максимальная температура воздуха в июне составила 30,6°С и отмечалась 27 числа, а в первый день июля воздух прогрелся до 31,9°С, июль был сухим и жарким. В августе норма среднемесячной температуры была превышена на 5,1°С.

Недостаток влаги в мае и июне 2022 г. составил соответственно 46% и 32% от нормы. Только в июле сумма осадков достигала 90% климатической нормы. Недостаток влаги в первой половине вегетации сильно сдерживал рост главных побегов рапса, и в фазу бутонизации их высота не превышала 15–18 см. Наибольшее количество осадков пришлось на период созревания плодов рапса.

Результаты исследований. Всходы рапса обычно появлялись через 13–20 дней после посева (табл. 2). В засушливых условиях 2022 г. при среднесуточной температуре 10°С всходы появились на 13-й день. Согласно научным данным, минимальной температурой прорастания для семян рапса является температура 10°С [4]. Длительность межфазных периодов роста и развития растений в разные годы варьировала в зависимости от условий (рис. 1, табл. 2). Известно, что продолжительность вегетационного периода является важным биологическим показателем сорта, определяющим возможность возделывания его в том или ином регионе. Самый короткий вегетационный период отмечен в 2011 г.

Семядоли у проростков были светло-зеленые без белых пятен, их длина колебалась от 1,1 до 1,3 см, ширина – 0,6–0,9 см (рис. 2).

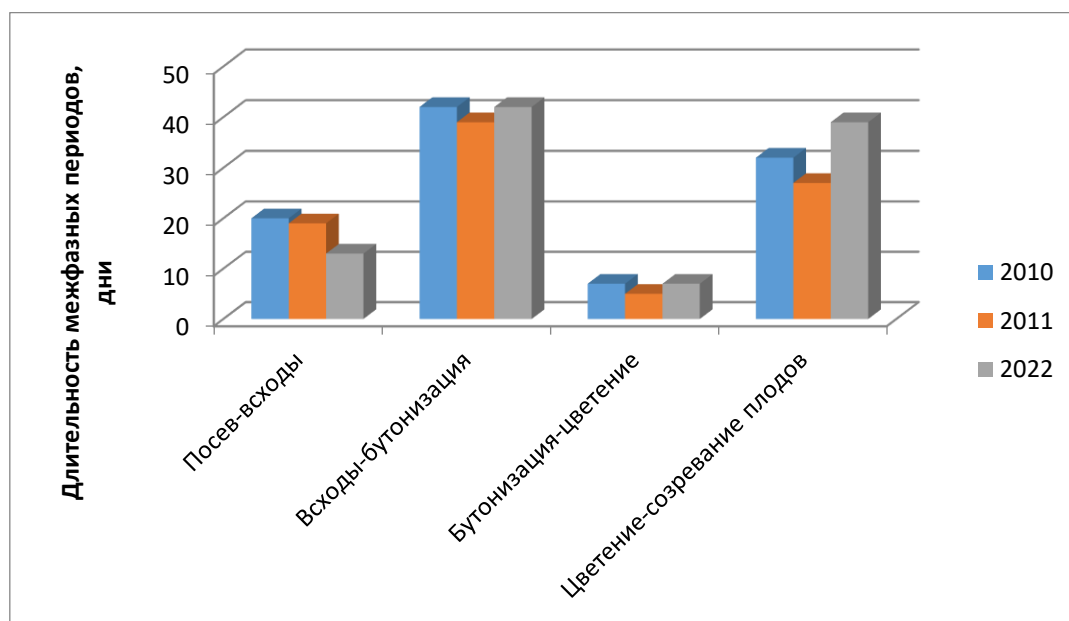


Рисунок 1. Фенологические фазы и длительность межфазных периодов расторопши пятнистой в годы исследований
 Figure 1. Phenological phases and duration of interphase periods of *Silybum marianum* in the years of research



Рисунок 2. Расторопша пятнистая: семядоли и два настоящих листа
 Figure 2. *Silybum marianum*: cotyledons and two real leaves

Таблица 2. Продолжительность межфазных периодов расторопши пятнистой и условия произрастания в Ленинградской области
 Table 2. Duration of vegetation and interphase periods of *Silybum marianum* in the Leningrad region

Межфазный период	Год наблюдения	Даты прохождения фаз	Длительность периода, дни	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма осадков, мм
Посев– всходы	2010	12.5–1.6	20	15,5	39,0
	2011	3.5–22.5	19	10,3	23,2
	2022	11.5–24.5	13	10,0	18,6
Всходы – бутонизация	2010	1.6–12.7	42	13,9	142,0
	2011	22.5–30.6	39	16,9	69,5
	2022	24.5–5.7	42	17,5	50,2

Продолжение таблицы 2.

Бутонизация – цветение	2010	12.7–19.7	7	15,3	6,0
	2011	30.6–5.7	5	22,6	2,2
	2022	5.7–12.7	7	19,6	35,0
Цветение – массовое созревание	2010	19.7–20.8	32	21,6	80,2
	2011	5.7–4.8	27	22,2	60,0
	2022	12.7–20.8	39	20,3	144,9
Продолжитель- ность периода посев –созревание плодов, дни	2010	1.6–20.8	101	20,5	114,1
	2011	22.5–4.8	90	19,3	131,7
	2022	24.5–20.8	101	18,9	210,1

Полученные нами результаты вполне согласуются с научными данными, полученными ранее [3; 4]. Общая длительность вегетационного периода расторопши пятнистой в разных регионах РФ колеблется от 70 до 130 суток (Атлас лекарственных растений России, 2006).

После всходов настоящие листья появлялись через 5–10 дней. Формирование укороченного розеточного побега (рис. 3) совпадало с засыханием семядолей и происходило через 25–30 дней. Рост главного побега и начало ветвления стебля отмечались обычно во 2–3 декадах июня, а в самом конце июня – начале июля наступала фаза бутонизации. Высота растений в это время была 70–95 см. Цветение начиналось в 1–2 декадах июля (рис. 4). Однако в 2022 г. из-за недостатка влаги в первой половине вегетации главные побеги перешли в репродуктивную фазу развития при высоте 15–17 см. В июле после выпадения осадков стебли выросли и достигли нормальной высоты. В остальном морфология листьев, побегов и соцветий была типичной для растений расторопши. Размер шаровидных корзинок в диаметре был от 3,0 см у побегов III–IV порядка до 6,5 см у побегов I порядка. Цветки в корзинках – трубчатые, лилово-розовые.



Рисунок 3. Расторопша пятнистая: фенологическая фаза– розетка листьев; стрелками показаны рано сформировавшиеся соцветия на главных побегах

Figure 3. *Silybum marianum*: phenological phase – rosette of leaves; arrows show early formed in florescences on the main shoots

Первыми зацветают корзинки на главных побегах, а затем с интервалом 7–10 дней – корзинки боковых побегов II порядка. В 2010–2011 гг. степень ветвления главного побега составляла II–III порядка, плоды в корзинках II порядка вызревали неполностью. В 2022 г. степень ветвления главного побега была III–V порядков. Вызревали плоды только в корзинках I и II порядков, корзинки III–V порядков в это время находились в фазе бутонизации или начинали цветение. Следует отметить, что в 90-х годах XX в. в середине августа растения расторопши обычно находились в фазе массового цветения, и семянки в корзинках главных побегов завязывались, но не успевали вызреть.

К началу созревания плодов в центральных корзинках колючки на листьях и соцветиях одревесневают, а розеточные и стеблевые листья постепенно отмирают.

Морфологические и структурные показатели растений расторопши в первые годы исследований даны в табл. 3. Структурно-морфологические показатели растений расторопши, которые выросли из семян, собранных нами в питомнике лекарственных растений в 2020 г., представлены в табл. 4.



Рисунок 4. Расторопша пятнистая: массовое цветение (2011 г.)
Figure 4. *Silybum marianum*: mass flowering (2011)



Рисунок 5. Расторопша пятнистая: массовое созревание плодов в корзинках главных побегов (2011 г.)

Figure 5. *Silybum marianum*: mass ripening of fruits in the baskets of the main shoots (2011)

Анализ таблиц показал, что такая биологическая характеристика вида, как масса 1000 плодов, была гораздо выше в 2010–2011 гг. Однако в 2022 г. у растений расторопши значительно возросло среднее число боковых побегов II порядка и, конечно, корзинок, поэтому увеличилась их доля при оценке продуктивности одного растения. Коэффициент плодообразования и масса 1000 плодов в боковых побегах также были выше, чем в главном побеге. По-видимому, это связано с неблагоприятными погодными условиями в период формирования главных побегов.

Таблица 3. Морфологические характеристики растений расторопши пятнистой в 2010–2011 гг.
Table 3. Morphological characteristics of *Silybum marianum* plants in 2010–2011

Год	Средняя высота растений, см	Среднее число цветков в корзинках главного побега, шт.	Среднее число цветков в корзинках боковых побегов II порядка, шт.	Среднее число плодов в корзинках главного побега, шт.	Среднее число зрелых плодов в корзинках побегов II порядка, шт.	Среднее число побегов II порядка, шт.	Масса 1000 плодов, г	Продуктивность одного растения, шт.
2010	84,2	110,1	85,0	105,0	75,0	6,8	29,05	615,00
2011	82,1	108,6	84,7	99,5	67,5	7,1	28,75	578,75

Таблица 4. Морфологические и структурные показатели растений расторопши пятнистой в 2022 г.

Table 4. Morphological and structural indicators of *Silybum marianum* plants in 2022

Порядок побега	Средняя высота, см	Среднее число побегов, шт.	Среднее число цветков в корзинке, шт.	Среднее число плодов в корзинке, шт.	Коэффициент плодообразования, %	Среднее число щуплых плодов, шт.	Масса 1000 плодов, г	Продуктивность одного растения, шт.
Главный побег	81,1	1,0	127,1	98,1	77,2	19,4	22,6	98,10
Боковой побег II порядка	97,5	9,8	126,7	113,4	89,5	13,2	23,6	1111,32

Продуктивность одного растения и урожайность плодов 1 м² (рис. 6) также оказались более высокими в 2022 г. Морфометрические показатели семян (табл. 5) свидетельствуют о том, что плоды в 2022 г. были более мелкие, с меньшей массой 1000 семян, но их было гораздо больше.

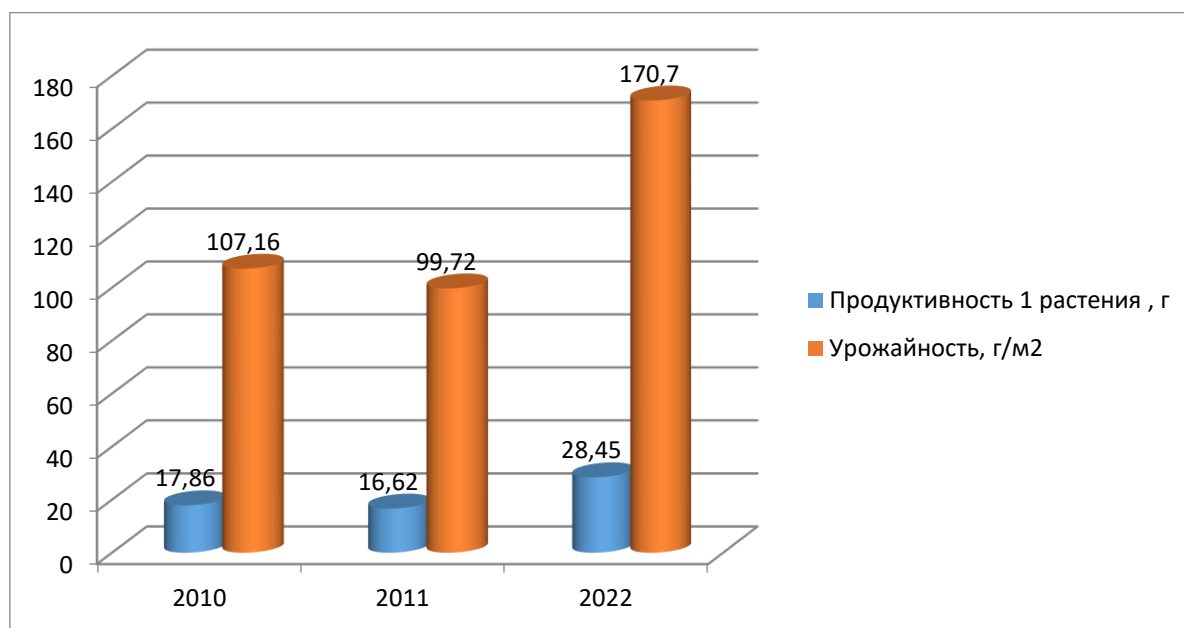


Рисунок 6. Продуктивность и урожайность расторопши пятнистой в разные годы
Figure 6. Productivity and yield of *Silybum marianum* in different years

Таблица 5. Метрические показатели плодов расторопши в разные годы
Table 5. Metric indicators of *Silybum marianum* fruits in different years

Год	Средняя длина семянков, мм	Средняя ширина семянков, мм	Средняя толщина семянков, мм	Окраска семянков
2010	7,1	2,9	1,5	Светло-коричневая
2011	6,7	2,5	1,5	Светло-коричневая
2022	6,5	2,3	1,3	Светло-коричневая

Расчетная урожайность плодов расторопши пятнистой в условиях Ленинградской области довольно высокая и вполне сравнима с урожайностью в Поволжье – 1210–1710 кг/га [3; 4].

В годы наблюдений за вегетационный период накапливалась сумма активных температур выше 10°C от 1986 до 2210°C, что позволяло растениями расторопши нормально расти, развиваться и формировать плоды. Цветение начинается при сумме активных температур от 931 до 1411,0, а для созревания плодов требовалась сумма температур 1342–1986°C, чем выше была сумма температур, тем больше плодов успевали вызреть.

Выводы. Проведенные исследования показали значительную адаптацию расторопши пятнистой сорта Дебют к почвенно-климатическим условиям Ленинградской области. Растения проходят полный цикл развития, цветут и формируют фертильные плоды. Большую продуктивность показали растения расторопши пятнистой, выросшие из семян местной репродукции. Безусловно, эта тема требует дальнейшего глубокого изучения.

Список источников литературы

1. Naida, N.M. Features of growth and development of *Silybum marianum* on North-West of Russia // International Conference “Process Management and Scientific Developments”. – Birmingham, United Kingdom. – 2020. – Part 2. – P.198–203.
2. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений: учебное пособие / под ред. Г.П. Яковлева. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2015. – 759 с.
3. Аленин, П.Г. Продукционный процесс семенных агрофитоценозов расторопши пятнистой и черноголовника многобрачного в условиях лесостепи Среднего Поволжья / П.Г. Аленин, С.А. Кшникаткин, И.А. Воронова // Нива Поволжья. – 2017. – № 1 (42). – С. 2 – 9.

4. Экологически безопасная технология возделывания расторопши пятнистой / Кшникаткин С.А., Аленин П.Г., Воронова И.А., Поликорпова А. А. // *Нива Поволжья*. – 2021. – № 3 (60). – С. 60 – 64.
5. Росихин, Д.В. Сравнительное изучение жирнокислотного состава масла расторопши и облепихового масла / Д.В. Росихин // *Вестник Башкирского государственного медицинского университета*. – 2017. – № 2. – С.761–768.
6. Росихин, Д.В. Фармакогностическое исследование по обоснованию комплексного использования расторопши пятнистой (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.): автореф. дисс. ...канд. сельхоз. наук / Д.В. Росихин. – Саратов, 2018. – 27 с.
7. Росихин, Д.В. Подходы к качественному анализу суппозиториев антигеморроидального действия, содержащих биологически активные соединения масла расторопши пятнистой / Д.В. Росихин, Т.К. Рязанова // *Материалы научно-практической конференции с международным участием «Аспирантские чтения-2017»*. – Самара, 2017. – С.178–179.
8. Росихин, Д.В. Исследования по разработке препаратов на основе расторопши пятнистой для лечения и профилактики профессиональных заболеваний / Д.В. Росихин, В.А. Куркин и др. // *Совершенствование охраны труда в медицинских организациях*. – 2018. – № 4. – С.44–48.
9. Исследования по разработке методики стандартизации травы расторопши пятнистой *Silybum marianum* (L.) Gaertn. / Д.В. Росихин, В.А. Куркин и др. // *Сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты»*. – Москва, 2018. – С. 498–502.
10. Создание и стандартизация импортозамещающих лекарственных растительных препаратов / В.А. Куркин, Е.В. Авдеева, Д.В. Росихин и др. // *Материалы 7-й Международной научно-методической конференции "Фармобразование-2018"*. – Воронеж, 2018. – С. 487–490.
11. Chemical composition of two non-conventional oils in Morocco: *Melia azadirachta* and *Silybum marianum* (L.) / Ismaili S.A., Harhar H., Gharby S. et al. // *Journal of Materials and Environmental Science*. – 2016. – Vol. 7. – № 6. – P. 2208–2213.
12. Infusions of artichoke and milk thistle represent a good source of phenolic acids and flavonoids / C. Pereira, L. Barros, A.M. Carvalho, C. Santos-Buelgab, I. Ferreira // *Food Func.* – 2015 – № 3. – P. 56–62.

References

1. Naida, N.M. (2020), Features of growth and development of *Silybum marianum* on North-West of Russia, *International Conference "Process Management and Scientific Developments"*, Birmingham, United Kingdom, part 2, pp.198–203.
2. *Bol'shoj enciklopedicheskiy slovar' lekarstvennyh rastenij: uchebnoe posobie* [A large encyclopedic dictionary of medicinal plants: textbook] (2015), G.P. Yakovlev ed., 3-e izd., ispr. i dop., SPb., SpecLit, 759 p.
3. Alenin, P. G., Kshnikatkin, S. A., Voronova, I. A. (2017), *Produkcionnyj process semennyh agrofитocenozov rastoropshi pyatnistoj i chernogolovnika mnogobrachnogo v usloviyah lesostepi Srednego Povolzh'ya* [The production process of seed agrophytocenoses of spotted milk thistle and polygamous blackhead in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region], *Niva Povolzh'ya*, no. 1 (42), pp. 2–9.
4. Kshnikatkin, S. A., Alenin, P.G., Voronova, I.A., Polikorpova, A. A. (2021), *Ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya vozdelevaniya rastoropshi pyatnistoj* [Environmentally safe technology of cultivation of milk thistle spotted], *Niva Povolzh'ya*, no. 3 (60), pp. 60 – 64.
5. Rosihin, D.V. (2017), *Sravnitel'noe izuchenie zhirnokislotojnogo sostava masla rastoropshi i oblepихovogo masla* [Comparative study of the fatty acid composition of milk thistle oil and sea buckthorn oil], *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*, no. 2, pp.761–768.
6. Rosihin, D.V. (2018), *Farmakognosticheskoe issledovanie po obosnovaniyu kompleksnogo ispol'zovaniya rastoropshi pyatnistoj (Silybum marianum (L.) Gaertn.)* [Pharmacognostic study to substantiate the complex use of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.)], *avtoref. diss. ...kand. sel'hoz nauk*, Saratov, 2018, 27 p.
7. Rosihin, D.V., Ryazanova, T.K. (2017), *Podhody k kachestvennomu analizu suppozitoriev antihemorroidal'nogo dejstviya, sodержashchih biologicheski aktivnye soedineniya masla rastoropshi pyatnistoj* [Approaches to the qualitative analysis of antihemorrhoidal suppositories containing

- biologically active compounds of milk thistle oil] , *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Aspirantskie chteniya – 2017*, Samara, 2017, pp.178–179.
8. Rosihin, D.V., Kurkin, V.A. et al. (2018), Issledovaniya po razrabotke preparatov na osnove rastoropshi pyatnistoj dlya lecheniya i profilaktiki professional'nyh zabolevanij [Research on the development of drugs based on milk thistle for the treatment and prevention of occupational diseases], *Sovershenstvovanie ohrany truda v medicinskih organizacijah*, no. 4, pp.44–48.
 9. Rosihin, D.V. , Kurkin, V.A. et al. (2018), Issledovaniya po razrabotke metodiki standartizacii travy rastoropshi pyatni stoj Silybum marianum (L.) Gaertn. [Research on the development of a methodology for standardization of milk thistle grass Silybum marianum (L.) Gaertn.] , *Sbornik nauchnyh statej po materialam X Mezhdunarodnogo simpoziuma «Fenol'nye soedineniya: fundamental'nye i prikladnye aspekty»*, Moskva, pp. 498–502 .
 10. Kurkin, V.A., Avdeeva E.V., Rosihin D.V. et al. (2018), Sozdanie i standartizaciya importozameshchayushchih lekarstvennyh rastitel'nyh preparatov [Creation and standardization of import-substituting herbal medicines], *Materialy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno metodicheskoy konferencii "Farmobrazovanie-2018"*, Voronezh, pp. 487–490.
 11. Ismaili, S.A., Gharby, S., Harhar, H. et al. (2016), Chemical composition of two non-conventional oils in Morocco: Melia azadirachta and Silybum marianum (L.), *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 7, no. 6, pp. 2208–2213.
 12. Pereira, C., Barros, L., Carvalho, A.M., Santos-Buelgab, C., Ferreira, I. (2015), Infusions of artichoke and milk thistle represent a good source of phenolic acids and flavonoids , *Food Func.*, no. 3, pp. 56–62.

Сведения об авторе

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

Information about the authors

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

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 23.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 634.51:632.52:581.4:581.1

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-21-28

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗМНОЖЕНИЯ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ МИЧУРИНСКОГО ГАУ ОДРЕВЕСНЕВШИМИ ЧЕРЕНКАМИ

Геннадий Парфенович Атрощенко¹, Евгений Петрович Безух², Наджибулла Асир³

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; атросченко-Г.Р@mail.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-8501-6313>

²Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – Филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия; info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3444-0632>

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия, najeebullah277@yahoo.com;

<https://orcid.org/0000-0001-5516-7068>

Реферат. В настоящее время современное садоводство строится на слаборослых клоновых подвоях. Слаборослым клоновым подвоям принадлежит большая роль в регулировании силы роста деревьев, их скороплодности и продуктивности. Интродукция новых клоновых подвоев яблони предусматривает изучение способности их вегетативного размножения, в том числе одревесневшими черенками. Целью исследований является изучение способности размножения различных форм клоновых подвоев яблони одревесневшими черенками, заготовленными из средней и нижней частей побегов. Исследования проводили в 2020–2021 гг. в учебно-опытном саду Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Объекты изучения – 8 слаборослых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ: Малыш Будаговского, 54-118, 57-490, 62-223, 62-396, 64-143, 67-5(32), 70-6-8. Большинство клоновых подвоев впервые испытывалось в условиях Ленинградской области. Контролем служил районированный подвой 54-118. Одревесневшие черенки осенью заготавливали в отводковом маточнике из нижней и средней части выросших отводков. Длина черенка составляла 20 см. Одревесневшие черенки весной высаживали в грунт пленочной теплицы по схеме 20 х 5 см. Установлено, что черенки из нижней части побегов обладают большей регенерационной способностью (70,4–95,0%), чем черенки из средней части побегов (35,5–58,8%). Наибольшие биометрические показатели роста и развития формируют клоновые подвои, выращенные из черенков нижней части побегов. Выход стандартных подвоев, выращенных из нижней части побегов, варьировал от 40,2% (67-5(32)) до 92,5% (54-118). Выход стандартных подвоев, выращенных из средней части побегов, составил у форм 54-118, 57-490, 62-223, 62-396, 70-6-8, у Малыша Будаговского – 60,6–72,0%. У форм 64-143 и 67-5(32) не получено стандартных подвоев.

Ключевые слова: клоновые подвои яблони, одревесневшие черенки, защищенный грунт, укореняемость, выход подвоев

Цитирование. Атрощенко Г.П., Безух Е.П., Асир Н. Эффективность размножения клоновых подвоев яблони Мичуринского ГАУ одревесневшими черенками // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 21–28. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-21-28

**PROPAGATION EFFICIENCY OF APPLE TREE CLONAL ROOTSTOCKS
OF MICHURINSKIY GAU BY WOODY CUTTINGS****Gennady P. Atroshchenko¹, Evgeny P. Bezukh², Najeebullah Asir³**

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

²Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of the FGBNU FNAC VIM, Filtrovskoe shosse, 3, v. Tyarlevo, St. Petersburg, 196625, Russia; info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3444-0632>

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

Abstract. Nowadays, modern horticulture is based on low-growing clonal rootstocks.

Low-growing clonal rootstocks play a great role in regulating tree growth strength, their early maturity and productivity. Introduction of new apple-tree clonal rootstocks includes studying of their vegetative propagation ability, including woody cuttings. The aim of the research is to study propagation ability of various forms of apple-tree clonal rootstocks by woody cutting taken from middle and lower parts of shoots. Studies were carried out in 2020-2021 in the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University. The objects of the study were 8 low-growing clonal apple trees of Michurin State Agrarian University selection: Budagovsky's Malysk, 54-118, 57-490, 62-223, 62-396, 64-143, 67-5(32), 70-6-8. Most of the clonal rootstocks were first tested under the conditions of the Leningrad Region. The zoned rootstock 54-118 served as the control. Woody cuttings were prepared in autumn in a broodstock from the lower and middle parts of the grown offshoots. The length of cuttings was 20 cm. The woody cuttings were planted in spring in the soil of film greenhouse according to the scheme 20 x 5 cm. It was found that cuttings from the lower part of shoots have a greater regenerative capacity (70,4-95,0%) than cuttings from the middle part of shoots (35,5-58,8%). The highest biometric indicators of growth and development are formed by clonal rootstocks grown from cuttings of the lower part of shoots. The yield of standard rootstocks grown from the lower part of shoots ranged from 40.2% (67-5(32) to 92.5% (54-118). The yield of standard rootstocks grown from the middle part of shoots was 60.6-72.0% in forms 54-118, 57-490, 62-223, 62-396, 70-6-8, and Budagovsky's Malysk. No standard rootstocks were obtained in forms 64-143 and 67-5(32).

Keywords: *apple tree clonal rootstocks, woody cuttings, protected ground, rooting ability, yield of rootstocks*

Citation. Atroshchenko, G.P., Bezukh, E.P., Asir, N. (2022), "Propagation efficiency of apple tree clonal rootstocks of Michurinskiy GAU by woody cuttings", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 21–28. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-21-28.

Введение. Современное садоводство базируется на интенсивных технологиях возделывания садов, основой которых является использование слаборослых клоновых подвоев. Слаборослые клоновые подвои яблони обладают следующими качествами: сдержанная сила роста, скороплодность, хорошая совместимость с основными сортами, легкость при вегетативном размножении [1; 2].

Низкорослость деревьев яблони на слаборослых клоновых подвоях позволяет механизировать уход за кроной и сбор урожая. Такие деревья требуют меньшей площади питания по сравнению с высокорослыми деревьями, поэтому при закладке сада на слаборослых клоновых подвоях можно увеличить количество плодовых деревьев без ущерба для их роста и развития [3].

Деревья, привитые на слаборослые клоновые подвои, формируют большую продуктивность и более регулярно плодоносят в сравнении с растениями на сильнорослых подвоях.

Кроме того, слаборослые клоновые подвои яблони повышают устойчивость привойно-подвойных комбинаций к абиотическим и биотическим факторам [4; 5].

Селекционная работа по клоновым подвоям яблони в нашей стране проводится в ряде научно-исследовательских учреждений по садоводству. Но наибольшее распространение в интенсивном садоводстве занимают слаборослые клоновые подвои яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета (МичГАУ). В результате многолетней селекционной работы профессором В.И. Будаговским и его последователями были получены слаборослые клоновые подвои яблони, которые обладают высоким потенциалом морозо- и зимостойкости. Корневые системы этих подвоев выдерживают понижение температуры до $-16^{\circ}\dots-18^{\circ}\text{C}$ [6; 7]. Это позволило создать промышленные слаборослые интенсивные насаждения яблони в ряде регионов России.

Клоновые подвои яблони селекции Мичуринского ГАУ (В9, 62-396 и др.) прошли широкое производственное испытание в ряде зарубежных стран (США, Канаде, Франции, Польше, Голландии, странах Балтии) и получили высокую оценку по ряду хозяйственно-ценных признаков. Они также используются в мировой селекции в качестве доноров морозостойкости и устойчивости к болезням.

Основным способом размножения клоновых подвоев яблони является получение отводков в маточниках вертикального или горизонтального типа [8; 9]. Однако такое размножение не может в значительной мере удовлетворить потребности производства в посадочном материале. Поэтому в питомниководстве применяют и другие способы вегетативного размножения, в том числе одревесневшими черенками [10; 11].

В связи с интродукцией слаборослых клоновых подвоев яблони большое значение придаётся изучению способности размножения их одревесневшими черенками.

Цель исследований – изучение способности размножения различных форм клоновых подвоев яблони одревесневшими черенками, заготовленными из средней и нижней части побегов.

Материалы, методы и объекты исследований. Исследования проводили в 2020–2021 гг. в учебно-опытном саду Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (СПбГАУ). Одревесневшие черенки различных форм клоновых подвоев яблони в середине октября заготавливали в отводковом маточнике открытого грунта из нижней и средней частей выросших отводков. Длина черенка 20 см. Черенки весной высаживали в грунт пленочной теплицы в мае месяце. Схема посадки 20 x 5 см. В конце вегетации устанавливали процент укореняемости черенков из разных частей побегов, измеряли высоту растений, диаметр побегов, длину корневой системы, количество корней. Опыт заложен в трехкратной повторности, по 10 одревесневших черенков в каждой повторности.

Наблюдения и учёты проводились согласно методике «Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда, 2019» [12].

В качестве слаборослых клоновых подвоев яблони были испытаны 8 форм селекции Мичуринского государственного аграрного университета. По силе роста слаборослые клоновые подвои классифицировались на несколько групп: карликовые – Малыш Будаговского, 62-396; полукарликовые – 62-223, 64-143, 67-5(32), 70-6-8; 54-118; среднерослые – 57-490. Клоновые подвои Малыш Будаговского, 62-223, 64-143, 67-5(32), 70-6-8 впервые испытывались в условиях Ленинградской области. Контроль – районированный подвой 54-118.

Ниже дадим краткую характеристику биологических особенностей слаборослых клоновых подвоев яблони.

Малыш Будаговского. Карликовый подвой. Получен при скрещивании подвоя 57-344 с подвоем 57-490. Подвой зимостойкий (корневая система выдерживает до -16°C). Растения

подвоя имеют антоциановую окраску. Он хорошо размножается отводками в маточнике, а также зелеными и одревесневшими черенками в защищенном грунте. Устойчив к вредителям и болезням. Засухоустойчивость достаточно высокая. Подвой хорошо совместим со всеми сортами яблони. Отличается высокой скороплодностью. Деревья на этом подвое вступают в плодоношение уже на 3-й год после посадки. Подвой способствует формированию у растений хорошей компактной кроны. Однако деревья на этом подвое нуждаются в постоянной опоре. Подвой включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

62-396. Карликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от скрещивания полукарликового подвоя 13-14 с карликовым – Парадизкой Будаговского. Маточные кусты средней силы роста, компактные или слабораскидистые с антоциановой окраской. Прочность древесины средняя. Морозостойкость корневой системы высокая (корни сохраняются при понижении температуры до -16°C). Подвой совместим с сортами яблони. Деревья, привитые на этом подвое, скороплодные и вступают в плодоношение на 3–4-й год после посадки. Подвой хорошо размножается вегетативным путем (отводками, зелеными и одревесневшими черенками в защищенном грунте). Засухоустойчив.

62-223. Полукарликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от скрещивания сорта Анока с Парадизкой Будаговского. Куст компактный, зеленолиственный. Древесина прочная. Корневая система выдерживает до -18°C . Хорошо размножается отводками в маточнике, зелеными и одревесневшими черенками в защищенном грунте. Совместимость с сортами яблони хорошая. Деревья на данном подвое вступают в плодоношение на 4–5-й год после посадки. Устойчивость к засухе, болезням и вредителям высокая. Подвой включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

64-143. Полукарликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от скрещивания клоновых подвоев Парадизка Будаговского и 49-290. Куст компактный, зеленолиственный. Древесина достаточно прочная. Корневая система выдерживает понижения температуры до $-15\dots-16^{\circ}\text{C}$. Засухоустойчивость высокая. Деревья, привитые на этом подвое, достигают в высоту до 3,0–3,5 м, скороплодные.

67-5(32). Полукарликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от свободного опыления гибрида 54-83. Маточный куст прямостоячий или слабораскидистый. Древесина среднепрочная и имеет темно-розовую окраску. Подвой высокозимостойкий и отличается достаточно высокой морозостойкостью корневой системы (корни сохраняются при $-15\dots-16^{\circ}\text{C}$). Засухоустойчив. Слабо поражается болезнями и вредителями. Подвой хорошо совместим с сортами яблони. Отличается скороплодностью, деревья вступают в плодоношение на

3–4-й год после посадки. Подвой включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

70-6-8. Полукарликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от скрещивания подвойных форм 54-83 и 57-344. Маточный куст компактный, зеленолиственный. Древесина среднепрочная зеленой окраски. Отличается высокой морозостойкостью корневой системы (корни сохраняются при -16°C). Подвой устойчив к болезням и вредителям. Обладает хорошей совместимостью с сортами яблони.

54-118. Полукарликовый подвой. Получен В.И. Будаговским от скрещивания Парадизки Будаговского с подвоем 13-14. Маточный куст прямостоячий или полураскидистый. Побеги имеют темно-розовую окраску древесины. Деревья яблони, привитые на этом подвое, вступают в плодоношение на 4–5-й год после посадки. Подвой высокозимостоек и отличается высокой морозостойкостью корневой системы (корни сохраняются при понижениях температуры до -16°C). Засухоустойчив. Подвой хорошо размножается вегетативным способом. Этот подвой является одним из лучших для выращивания садов в средней зоне садоводства. Подвой включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

57-490. Среднерослый подвой. Получен от скрещивания Парадизки Будаговского с подвоем 13-14. Маточные кусты имеют широкопирамидальную форму. Древесина побегов красновато-розовая. Имеет мощную корневую систему. Подвой хорошо совместим с сортами яблони, обеспечивает вступление в плодоношение на 4–6-й год после посадки. Легко размножается вегетативно разными способами (отводками в маточниках, зелеными и одревесневшими черенками в защищенном грунте). Корни отличаются высокой морозостойкостью (сохраняются при понижениях температуры до -16°C). Засухоустойчивость высокая. Подвой включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

Результаты исследований. Создание в теплице оптимальной влажности, теплового и воздушного режимов является основным условием укореняемости одревесневших черенков клоновых подвоев яблони. Сравнительное изучение способности клоновых подвоев яблони размножаться одревесневшими черенками показало, что изучаемые формы подвоев проявляют неодинаковую способность к этому способу размножения. Установлено, что укоренение одревесневших черенков, заготовленных из нижних частей побегов, происходит более интенсивно, чем из средней части, независимо от формы изучаемых подвоев. Черенки из нижней части побегов показали высокую регенерационную способность, которая варьировала от 70,4% у подвоя 62-223 до 95,0% у подвоя 54-118. Регенерационная способность черенков из средней части побегов составила 35,5–58,8%. Наибольшая приживаемость одревесневших черенков отмечена у подвоев 70-6-8 – 58,8%, 54-118 – 53,2%, 57-490 – 52,6%.

Нами определено, что побеги растений, выращенные из нижней части прошлогодних побегов, обладали высокой интенсивностью роста и развития. Наибольшую высоту побегов сформировали клоновые подвои 54-118, 57-490, 62-396. Диаметр побегов всех подвоев на высоте 20 см от основания колебался от 6,0 до 9,0 мм. Большинство растений у изучаемых подвоев образовали мощную, хорошо развитую корневую систему (табл. 1).

Таблица 1. Биометрические показатели клоновых подвоев, выращенные из черенков нижней части побегов (2020–2021 гг.)

Table 1. Biometric indicators of clonal rootstocks grown from cuttings of the lower part of the shoots (2020–2021)

Подвой	Высота побега, см	Диаметр побега, мм	Длина корневой системы, см	Количество корней, шт.
54-118 (к)	76,0	8,0	43,4	30,0
57-490	78,7	8,0	34,4	22,2
62-223	48,3	7,0	26,5	19,3
62-396	80,4	8,0	38,4	25,6
64-143	53,2	6,0	22,0	13,5
67-5(32)	49,5	7,0	23,2	11,4
70-6-8	58,4	8,0	31,2	29,0
Малыш Будаговского	62,0	9,0	29,3	16,0
НСР ₀₅	6,22		2,84	

Рост побегов у одревесневших черенков, выращенных из средней части прошлогодних побегов, начинался после укоренения. Высота побегов варьировала от 24,0 см до 68,6 см в зависимости от формы подвоя. Наиболее высокие побеги сформировали клоновые подвои 57-490 (68,6 см) и 62-396 (62,6 см). Диаметр побегов колебался от 5 до 7 см. Корневая система большинства подвоев из этих черенков была хорошо развита. Наиболее слабую корневую систему сформировали растения подвоев 67-5(32) и 64-143 (табл. 2).

Таблица 2. Биометрические показатели клоновых подвоев яблони, выращенные из черенков средней части побегов (2020–2021 гг.)

Table 2. Biometric indicators of apple clonal rootstocks grown from cuttings of the middle part of the shoots (2020–2021)

Подвой	Высота побега, см	Диаметр побега, мм	Длина корневой системы, см	Количество корней, шт.
54-118 (к)	56,4	7,0	28,6	20,1
57-490	68,6	7,0	20,8	17,0
62-223	25,0	7,0	23,8	16,0
62-396	62,6	7,0	30,4	20,6
64-143	27,6	5,0	11,6	6,8
67-5(32)	24,0	6,0	12,4	7,0
70-6-8	43,8	7,0	25,2	20,0
Мальш Будаговского	50,0	7,0	22,0	15,6
НСР ₀₅	5,17		1,53	

Важным показателем при размножении одревесневшими черенками клоновых форм яблони является выход подвоев первого, второго сортов и нестандартта.

Проводившийся осенью учет выхода посадочного материала показал, что наибольший выход стандартных подвоев получен из черенков, выращенных из нижней части побегов (табл. 3). Этот показатель варьировал в зависимости от формы подвоев и составил 40,2–92,5%. Наибольший выход стандартных подвоев получен у форм 54-118 (92,5%), 62-396 (90,4%), наименьший – у форм 67-5(32), 64-143 (40,2–55,0%). У остальных форм выход стандартных подвоев составил 70,0–84,4%. Наименьший выход подвоев 2-го сорта получен у форм 54-118, 70-6-8, 62-396. Выход нестандартных подвоев колебался от 3,1% (62-396) до 31,4% (67-5(32)).

Таблица 3. Выход подвоев, выращенных из черенков нижней части побегов (2021–2021 гг.)

Table 3. Output of rootstocks grown from cuttings of the lower part of the shoots (2021–2021)

Форма маточного подвоя	Выход подвоев, %		
	1-й сорт	2-й сорт	Нестандарт
54-118 (к)	92,5	4,1	3,4
57-490	84,4	10,3	5,3
62-223	70,0	15,2	14,8
62-396	90,4	6,5	3,1
64-143	55,0	18,5	26,5
67-5(32)	40,2	28,4	31,4
70-6-8	80,0	5,5	14,5
Мальш Будаговского	78,4	10,2	11,4

Выход стандартных подвоев, выращенных из средней части побегов, варьировал от 60,6 до 72,0% у форм 54-118, 57-490, 62-223, 62-396, 70-6-8, Мальш Будаговского. Стандартных подвоев не получено у форм 64-143, 67-5(32).

Выводы. Наибольшей регенерационной способностью обладают одревесневшие черенки клоновых подвоев яблони, заготовленные из нижней части побегов – 70,4–95,0%. Регенерационная способность одревесневших черенков из средней части побегов составила 35,5–58,8%. Наибольшим ростом и развитием характеризуются укорененные одревесневшие черенки, выращенные из нижней части побегов. Наибольший выход стандартных подвоев, выращенных из нижней части побегов, получен у форм 54-118 (92,5%), 62-396 (90,4%). Выход стандартных подвоев, выращенных из средней части побегов, составил у форм 54-118, 57-490,

62-223, 62-396, 70-6-8, Малыш Будаговского – 60,6-72,0%. У форм 64-143 и 67-5(32) не получено стандартных подвоев.

Список источников литературы

1. Перспективные сорта и технологии возделывания яблони в условиях юга России / Е.А. Егоров, Т.Г. Причко, Е.В. Ульяновская и др. – Краснодар, 2018. – 78 с.
2. Мурсалимова, Г.Р. Клоновые подвои яблони селекции Оренбургской опытной станции садоводства и виноградарства / Г.Р. Мурсалимова // Современное садоводство-Contemporary horticulture. – Орел:ВНИИСПК, 2019. – № 2. – С. 27–34.
3. Королев, Е.Ю. Влияние агротехнических приёмов на качество саженцев яблони / Е.Ю. Королев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 46. – С. 154–157.
4. Fazio, G. Genetics, Breeding and Genomics of Apple Rootstocks // The Apple Genome. Compadium of Plant Genome / ed. by S.S. Korban. – Springer Cham, 2021. – P. 105–130. – URL: <https://doi.org/10.10007/978.3-030-74682-76> (accessed: 24.10.2022).
5. 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).
6. 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.
7. Чурикова, Н.Л. Агробиологическая оценка новых клоновых подвоев яблони селекции МичГАУ / Н.Л. Чурикова // Вестник Мичуринского ГАУ, 2019. – № 3. – С. 30–33.
8. Григорьева, Л.В. Экономическая эффективность возделывания отводков маточника клоновых подвоев яблони / Л.В. Григорьева, С.В. Хаустов // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2017. – № 4. – С. 80–83.
9. Трунов, Ю.В. Перспективы клоновых подвоев яблони для интенсивных садов / Трунов Ю.В., Соловьев А.В., Папихин Р.В. // Садоводство и виноградарство. – 2020. – № 2. – С. 34–40.
10. Атрощенко, Г.П. Интенсивное питомниководство: учебно-методическое пособие / Г.П. Атрощенко, Г.В. Щербакова, М.М. Скрипниченко. – СПб.: СПбГАУ. – 2018. – 62 с.
11. Нигматянова, С.Э. Влияние стимуляторов роста на корнеобразование одревесневших черенков / Нигматянова С.Э., Мурсалимова Г.Р., Панова М.А. // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – № 54. – С. 215–218.
12. Козловская, З.А. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда / З.А. Козловская. – Минск: Беларуская наука, 2019. – 249 с.

References

1. Egorov, E.A., Prichko, T.G., Ulyanovsk, E.V. et al. (2018), *Perspektivnyye sorta i tekhnologii vzdelyvaniya yabloni v usloviyah yuga Rossii* [Promising varieties and technologies cultivation of apple trees in the conditions of the South of Russia], Krasnodar, 78 p. (In Russian)
2. Mursalimova, G.R.(2019), Clonal rootstocks of apple trees bred at the Orenburg Experimental Station for Horticulture and Viticulture, *Sovremennoe sadovodstvo*, Orel, VNIISPК, no. 2, pp. 27–34. (In Russian)
3. Korolev, E.Yu. (2016), The influence of agricultural practices on the quality of apple seedlings, *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, vol. 46, pp.154–157. (In Russian)
4. Fazio, G. (2021), Genetics, Breeding and Genomics of Apple Rootstocks, in Korban, S.S. (ed.), *The Apple Genome. Compadium of Plant Genome*, Springer, pp. 105–130, available at: <https://doi.org/10.10007/978.3-030-74682-76> (accessed: 24.10.2022).
5. Bhat, M.A., Vousuf, S.A., Sakib, N. (2022), Impact analysis of Clonal rootstocks x scions interface on scab and Alternaria leaf blotch of apple, *Indian Phytopathology*, no. 75, pp. 377–382, available at: <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00470-3> (accessed: 24.10.2022).
6. Tarova, Z.N., Churikova, N. L., Papihin, R.V. (2019), Assessment of winter hardiness of new low-growing clonal rootstocks of apple trees bred at Michurinsky State Agrarian University in the field and laboratory conditions, *Vestnik Michurinskogo GAU*, no. 3, pp. 27–30. (In Russian)
7. Churikova, N.L.(2019), Agrobiological evaluation of new apple clonal rootstocks of Michurinsk GAU breeding, *Vestnik Michurinskogo GAU*, no. 3, pp. 30–33. (In Russian)

8. Grigor'eva, L.V., Haustov, S.V. (2017), Economic efficiency of layer cultivation mother liquor of apple clonal rootstocks, *Vestnik Michurinskogo GAU*, no. 4, pp. 80–83. (In Russian)
9. Trunov, Yu.V., Solov'ev, A.V., Papihin, R.V. (2020), Prospects for clonal rootstocks apple trees for intensive orchards, *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, no. 2, pp. 34–40. (In Russian)
10. 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 Russian)
11. Nigmatyanova, S.E., Mursalimova, G.R., Panova, M.A. (2018), The effect of growth promoters on root formation of woody cuttings, *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, no. 54, pp. 215–218. (In Russian)
12. Kozlovskaya, Z.A. (2019), *Geneticheskie osnovy i metodika selekcii plodovyh kul'tur i Vinograda* [Genetic bases and methods of selection of fruit crops and grapes], Minsk, Belaruskaya navuka, 249 p. (In Russian)

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», spin-код: 2888-0642.

Безух Евгений Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ – филиал «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», spin-код: 6912-0824.

Асир Наджибулла – аспирант кафедры плодовоовощеводства 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.

Evgeny P. Bezukh – Candidate of Agricultural Sciences, leading specialist, Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Scientific Agroengineering Center VIM - branch "Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production", spin-code: 6912-0824.

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 20.10.2022; одобрена после рецензирования 08.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 08.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья
УДК 633.37
doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-29-37

ЛУГОВЫЕ АГРОЦЕНОЗЫ НА ОСНОВЕ РАЗНЫХ СОРТОВ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО

Анатолий Борисович Никулин¹, Антонина Леонидовна Кокорина²,
Федор Федорович Ганусевич³

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; anatolnikul@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-2987-8314>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; red9027@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-4374-2613>

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; 210ff@mail.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-1877-4453>

Реферат. В современных направлениях экономического развития нашей страны предусматривается укрепление кормовой базы для развития животноводства. Одним из резервов производства качественных кормов является возделывание многолетних бобовых трав. К таким культурам относится козлятник восточный (*Galega orientalis Lam.*). Целью работы является изучение особенностей формирования травостоев с козлятником восточным разных сортов. В задачи исследований входило: изучить особенности формирования травостоев, побегообразование бобового вида, динамику ботанического состава в травостоях, определить урожайность. Исследования сенокосных агрофитоценозов на основе козлятника восточного проводились в 2017–2021 гг. на опытном поле Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Объектом исследований были сорта Надежда, Кривич и Юбиляр. Сорта козлятника восточного были высеяны в смеси с тимофеевкой луговой (*Phleum pratense L.*) сорта Ленинградская 204. В период проведения исследований фенологические наблюдения и учеты проводились согласно общепринятым методикам. На пятый год жизни травостоев количество побегов козлятника восточного составляло до 182 шт./м². Наибольшей побегообразовательной способностью обладал сорт Юбиляр. На второй год жизни у всех изучаемых сортов козлятника восточного доленое участие в травостоях было низким. На пятый год жизни доленое участие козлятника восточного в травостоях увеличилось до 95,6%. Включение тимофеевки луговой в травостои снизило участие несеяных видов и позволило получать хозяйственные урожаи с первого года пользования травостоями. Сбор сухой массы в сумме за два укоса в изучаемых травостоях составлял: до 8,6 т/га во второй год жизни, до 12,2 т/га на третий год жизни, до 16 т/га на четвертый год жизни, до 17,5 т/га на пятый год жизни. Наиболее урожайным по сбору сухой массы оказались сорта Кривич и Юбиляр. Все изучаемые сорта козлятника восточного оказались отвечающими требованиями для создания высокопродуктивных агроценозов.

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

Цитирование. Никулин А.Б., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф. Луговые агроценозы на основе разных сортов козлятника восточного // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 29–37. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-29-37.

MEADOW AGROCENOSSES BASED ON DIFFERENT VARIETIES OF EASTERN
GOAT'S-RUEAnatoliy B. Nikulin¹, Antonina L. Kokorina², Fedor F. Ganusevich³

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; anatolnikul@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2987-8314>

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; anatolnikul@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4374-2613>

³Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; anatolnikul@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1877-4453>

Abstract. In the modern directions of economic development of our country, it is envisaged to strengthen the fodder base for the development of animal husbandry. One of the reserves for the production of high-quality feed is the cultivation of perennial legumes. Such crops include eastern goat's-rue (*Galega orientalis Lam.*). The purpose of the work is to study the features of the formation of herbage with eastern goat of different varieties. The objectives of the research included: to study the features of the formation of herbage, the shoot formation of the legume species, and the dynamics of the botanical composition in the herbage, to determine the yield. Studies of hay-bearing agrophytocenoses based on the eastern goat's-rue were carried out in 2017-2021 at the experimental field of the St. Petersburg State Agrarian University. The object of research were varieties Nadezhda, Krivich and Jubilee. Varieties of eastern goat's-rue were sown in a mixture with Timofeevka lugovaya (*Phleum pratense L.*) varieties Leningradskaya 204. During the research period, phenological observations and records were carried out according to generally accepted methods. In the fifth year of herbage life, the number of shoots of the eastern goat was up to 182 pcs/m². The Jubilee variety had the greatest shoot-forming ability. In the second year of life, all the studied varieties of the eastern goat's-rue had a low share in herbage. In the fifth year of life, the share of the eastern goat in the herbage increased to 95.6%. The inclusion of meadow timothy in herbage reduced the participation of non-sown species and allowed to obtain economic harvests from the first year of use of herbage. The collection of dry mass in total for two mowing in the studied herbage was: up to 8.6 t/ha in the second year of life, up to 12.2 t/ha in the third year of life, up to 16 t/ha in the fourth year of life, up to 17.5 t/ha in the fifth year of life. The varieties Krivich and Jubilee turned out to be the most productive for collecting dry mass. All the studied varieties of eastern goat's-rue were found to meet the requirements for the creation of highly productive agrocenoses.

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

Citation. Nikulin, A.B., Kokorina, A.L., Ganusevich, F.F. (2022), "Meadow agrocenoses based on different varieties of eastern goat's-rue", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 29–37. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-29-37.

Введение. В условиях Северо-Запада России на лугах в основном используются злаковые травосмеси. Традиционная бобово-злаковая травосмесь основана на использовании клевера лугового. В настоящее время её внедрение в Северо-Западном регионе сдерживается из-за недостаточного производства семян отечественных сортов клевера лугового, а также в связи с коротким периодом хозяйственного использования этого бобового вида. Поэтому для повышения продуктивности и питательной ценности травостоев, устойчивого и более равномерного поступления зеленой массы необходимо расширять ассортимент видов и сортов бобовых трав.

В научной литературе представлено много разработок по изучению эффективных видов многолетних бобовых трав в чистом виде и в составе травосмесей для укосного использования. Важным достоинством таких культур является их продуктивное долголетие. Одним из долголетних видов является козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), который устойчив к сенокосному использованию, характеризуется продуктивным долголетием, высокой азотфиксирующей способностью и экологической пластичностью. Козлятник восточный отличается от распространенного в производстве клевера лугового высокой урожайностью, ранним и интенсивным весенним отрастанием, способностью формировать обильную вегетативную массу [1–5].

Первые сведения о козлятнике восточном относятся к началу XX века. В начале 1920-х годов на опорном пункте Всесоюзного института растениеводства А.Ю. Тупиковой-Фрейман было проведено изучение козлятника восточного. С 1925 г. козлятник восточный изучал в Ботаническом саду Пермского университета профессор А.А. Хребтов, а с 1932 г. это растение стали испытывать на Урале. Наиболее подробное изучение этой культуры было проведено во Всесоюзном институте кормов С.Н. Симоновым, который считается инициатором введения этого растения в культуру. В настоящее время козлятник восточный приобретает практическое значение, его возделывают в Нечерноземье, Предуралье, Центральном Черноземье, Поволжье, Западной Сибири и других регионах [6–12], а также в Польше, Чехии, Эстонии [13–15].

Цель исследования – обоснование создания укосных травостоев с участием козлятника восточного разных сортов в условиях Ленинградской области. Для решения поставленной цели рассматривались следующие задачи: изучить побегообразование козлятника восточного, провести анализ ботанического состава изучаемых травостоев, определить урожайность изучаемых травостоев.

Материалы, методы и объекты исследований. Полевой опыт по изучению формирования травостоев с участием козлятника восточного разных сортов проводится на опытном поле Санкт-Петербургского государственного аграрного университета с 2017 г. Изучаются сорта козлятника восточного Кривич и Юбиляр, выведенные в ГНУ Псковский НИИСХ, а также Надежда, выведенный на Павловской опытной станции ВИР им. Н.И. Вавилова. Каждый сорт козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) был высеян в травосмеси с тимофеевкой луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204, выведенного в ГНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка». Норма высева козлятника восточного 26 кг/га, тимофеевки луговой – 14 кг/га. Посев беспокровный, семена высевали рядовым способом, использование травостоев – двуукосное. Перед посевом семена козлятника восточного были скарифицированы и обработаны ризоторфином. В годы исследований проводили по два укоса: первый – в фазе бутонизации – начала цветения и второй – в фазе бутонизации у изучаемого бобового вида. Учет и наблюдения проводились согласно принятым в кормопроизводстве методикам.

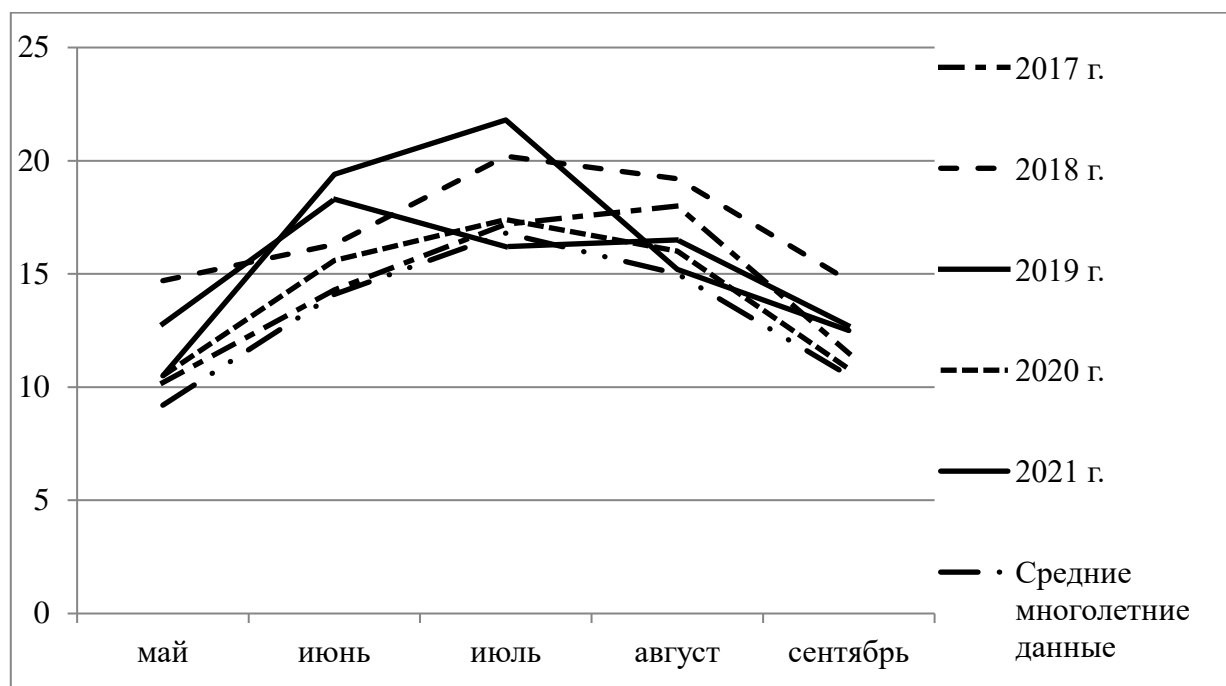


Рисунок 1. Среднемесячная температура воздуха, °С
Figure 1. Average monthly air temperature, °С

Анализ среднемесячной температуры воздуха в 2017–2021 гг. показал, что в период с мая по сентябрь она превышала среднемноголетние данные (рис. 1). По влагообеспеченности в годы проведения исследований наблюдались периоды переувлажнения и засушливые периоды, что влияло на развитие козлятника восточного (рис. 2).

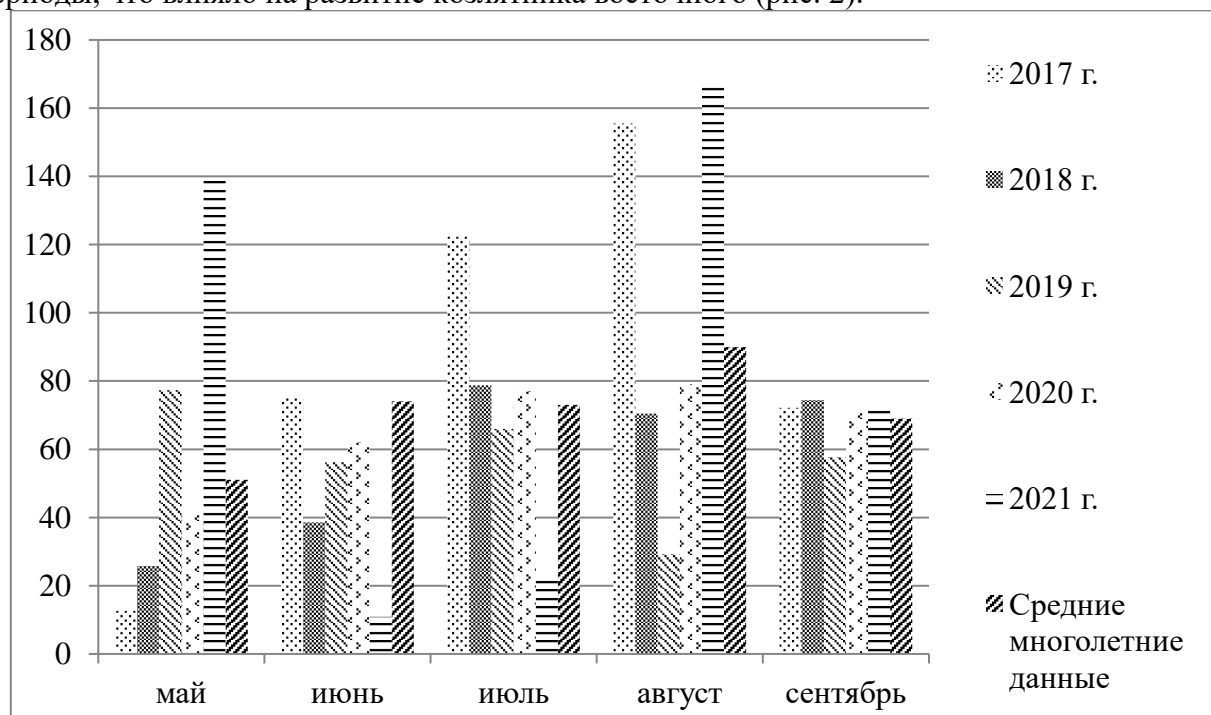


Рисунок 2. Сумма осадков, мм
Figure 2. Precipitation amount, mm

Исследования проводили на дерново-карбонатной почве. Пахотный горизонт почвы имел близкую к нейтральной реакцию среды, содержание по Кирсанову подвижного фосфора очень высокое и обменного калия – повышенное. Данные агрохимические показатели пахотного горизонта почвы благоприятны для возделывания козлятника восточного.

Результаты исследований. Козлятник восточный в первые годы жизни развивается очень медленно. Об этом свидетельствуют данные по побегообразовательной способности козлятника восточного в первый год пользования травостоями, когда она составляла всего 20–72 шт./м² в первом укосе и 56–128 шт./м² во втором укосе (табл. 1). В последующие годы жизни козлятник восточный увеличил свою побегообразовательную способность во всех изучаемых вариантах. Наибольшей побегообразовательной способностью обладал сорт козлятника восточного Юбиляр во все годы проведения исследований. Следует отметить, что при наступлении засушливого периода, который имел место в июне и июле 2021 г., все изучаемые сорта козлятника восточного снизили свою побегообразовательную способность.

Таблица 1. Количество побегов козлятника восточного, шт./м²
Table 1. Number of shoots of eastern goat's-rue, pcs./m²

№	Варианты	2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.	
		1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос
1	Сорт Надежда	20	56	46	88	73	121	130	98
2	Сорт Кривич	32	64	70	114	88	125	178	151
3	Сорт Юбиляр	72	128	101	140	136	141	182	170

Анализ ботанического состава изучаемых травостоев показал, что на второй год жизни доленое участие козлятника восточного разных сортов было невысоким и составило 9,4–16,8% в 1-м укосе и 33,4–54,8% во 2-м укосе (табл. 2). Низкое доленое участие козлятника восточного разных сортов в изучаемых вариантах связано с его медленным развитием в первые годы жизни, что характерно для всех долголетних видов трав. В последующие годы проведения исследований доленое участие козлятника восточного разных сортов увеличивалось и достигло к 2021 г. 93,3–95,6% в 1-м укосе. Во 2-м укосе доленое участие козлятника восточного разных сортов в годы проведения исследований увеличивалось во всех вариантах, но исключением являются результаты 2021 г., в котором произошло снижение доленого участия козлятника восточного разных сортов в связи с засушливым периодом в июне и июле.

Таблица 2. Ботанический состав изучаемых травостоев
Table 1. Botanical composition of the studied herb stands

№	Варианты	% по сухой массе					
		1-й укос			2-й укос		
		Сеяный бобовый вид	Сеяный злаковый вид	Несеяные виды	Сеяный бобовый вид	Сеяный злаковый вид	Несеяные виды
2018 г.							
1	Сорт Надежда	9,4	85,0	5,6	33,4	48,8	17,8
2	Сорт Кривич	16,8	72,8	10,4	37,0	40,0	23,0
3	Сорт Юбиляр	16,3	72,5	11,2	54,8	24,4	20,8
2019 г.							
1	Сорт Надежда	38,4	58,2	3,4	74,6	17,8	7,6
2	Сорт Кривич	62,9	24,6	12,5	83,6	9,6	6,8
3	Сорт Юбиляр	81,0	17,8	1,2	81,8	11,8	6,4

Продолжение таблицы 1.

2020 г.							
1	Сорт Надежда	72,2	22,8	5,0	91,2	7,0	1,8
2	Сорт Кривич	88,4	10,4	1,2	95,6	2,2	2,2
3	Сорт Юбиляр	86,0	9,7	4,3	81,1	15,9	3,0
2021 г.							
1	Сорт Надежда	95,6	–	4,6	54,7	–	45,3
2	Сорт Кривич	93,3	–	6,7	74,6	–	25,4
3	Сорт Юбиляр	95,6	–	4,4	71,8	–	28,2

Долевое участие тимофеевки луговой в травостоях второго года жизни было высоким, что и следовало ожидать. В последующие годы проведения исследований долевое участие тимофеевки луговой снижалось и уже на пятый год жизни она выпала из травостоев. Следует отметить, что долевое участие несеяных видов в изучаемых травостоях было невысоким. Интенсивному развитию несеяных видов в изучаемых травостоях препятствовала тимофеевка луговая. Этим и объясняется эффективность возделывания козлятника восточного, обладающего медленным развитием в первые годы, в смеси со злаковыми травами, т. к. этот прием позволяет снизить развитие инвазионной растительности, в том числе вредных и ядовитых растений.

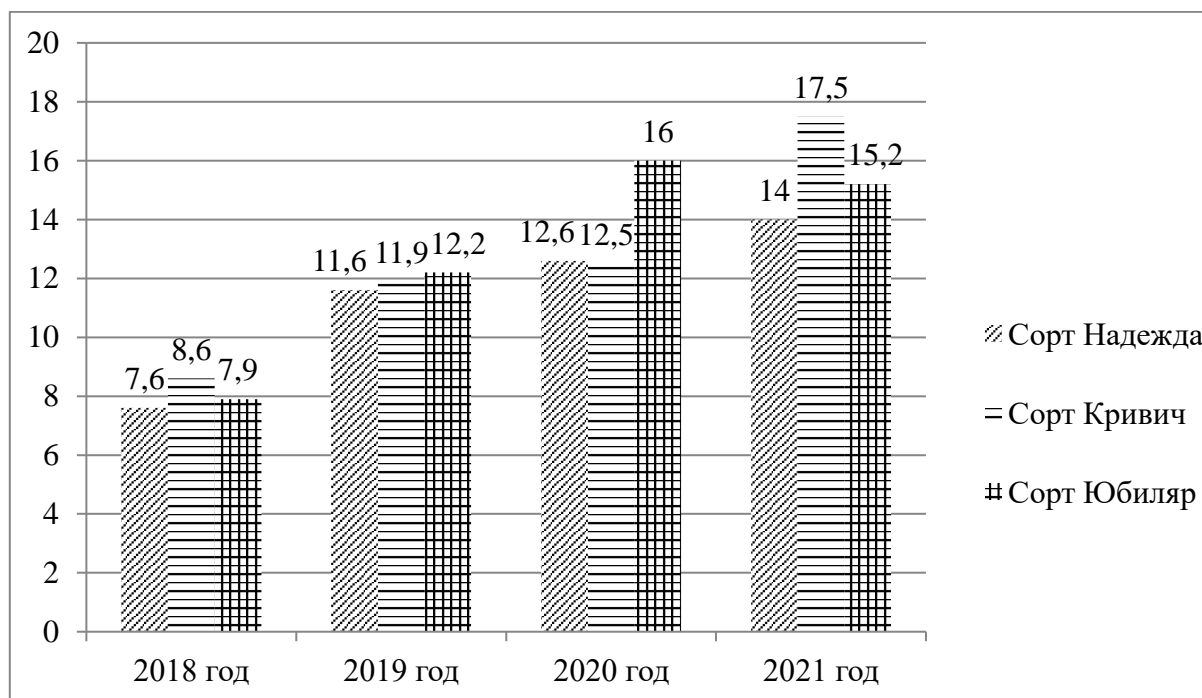


Рисунок 3. Сбор сухой массы в изучаемых травостоях, т/га в сумме за два укоса
Figure 3. Collection of dry mass in the studied grass stands, t/ha in total for two mowing operations

Урожайность сухой массы показала, что в изучаемых травостоях она находилась на разных уровнях значимости (рис. 3). На второй год жизни по сбору сухой массы наиболее урожайным оказался вариант с сортом Кривич козлятника восточного – было получено 8,6 т/га в сумме за два укоса ($НСР_{0,05} = 0,4$ т/га). На третий год жизни по сбору сухой массы наиболее урожайными оказались вариант с сортом Кривич и вариант с сортом Юбиляр

козлятника восточного, в которых было получено 11,9 и 12,2 т/га в сумме за два укоса соответственно ($НСР_{0,05} = 0,2$ т/га). На четвертый год жизни наиболее продуктивным оказался вариант с сортом Юбиляр, урожай которого составил 16 т/га сухой массы в сумме за два укоса ($НСР_{0,05} = 0,7$ т/га). На пятый год жизни наиболее урожайным оказался вариант с сортом Кривич, в котором было получено 17,5 т/га в сумме за два укоса ($НСР_{0,05} = 0,5$ т/га).

Выводы. В изучаемых травостоях наибольшей побегообразовательной способностью обладал козлятник восточный сорта Юбиляр. Включение тимopheевки луговой снижало участие несеяных видов в изучаемых травостоях. Долевое участие козлятника восточного увеличивалось во всех вариантах на протяжении всех лет проведения исследований. Наиболее урожайными по сбору сухой массы оказались травостой козлятника восточного сортов Кривич и Юбиляр – было получено 12,6 т/га и 12,8 т/га ($НСР_{0,05} = 0,5$ т/га) соответственно в сумме за два укоса в среднем за четыре года проведения исследований.

Список источников литературы

1. Соболева, Т.Н. Продуктивность и питательная ценность бобово-злаковых травостоев с участием козлятника восточного при пастбищном использовании / Т.Н. Соболева // Молочнохозяйственный Вестник. – 2015. – № 1. – С. 48–54.
2. Кормовые агрофитоценозы сенокосного типа на основе новых сортов козлятника восточного / Вагунин Д.А., Иванова Н.Н., Андиферова О.Н., Амбросимова Н.Н., Епифанова Н.А. // Кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 3–8.
3. Вагунин, Д.А. Козлятник восточный в смеси со злаковыми травами на мелиорированных землях в условиях Нечерноземья / Д.А. Вагунин, Н.Н. Иванова, Н.Н. Амбросимова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 4 (70). – С. 50–53.
4. Изменение урожайности и агрохимических показателей почвы при долголетнем возделывании козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) / Н.Н. Лазарев, О.В. Кухаренкова, Е.М. Куренкова, А.Ю. Бойцова // Кормопроизводство. – 2021. – № 8. – С. 26–31.
5. Баева, В.С. Перспективные сортообразцы козлятника восточного в Северо-Западном регионе РФ / В.С. Баева, Т.Е. Кузьмина // Кормопроизводство. – 2021. – № 7. – С. 30–32.
6. Золотарев, В.Н. Перспективы и проблемные аспекты использования козлятника восточного в кормопроизводстве России: состояние и направления селекции / В.Н. Золотарев // Кормопроизводство. – 2021. – № 5. – С. 35–46.
7. Влияние доз удобрений и орошения на продуктивность козлятника восточного в Нижнем Поволжье / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, Е.И. Молоканцева, О.В. Головатюк // Плодородие. – 2015. – № 5 (86). – С. 30–32.
8. Золотарев, В.Н. Сорт козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) с маркерным признаком / В.Н. Золотарев, В.Л. Коровина // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 6–14.
9. Моисеева, Е.А. Продукционные процессы при интродукции галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) в условиях средней тайги Западной Сибири / Е.А. Моисеева, Л.Ф. Шепелева // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 8 (119). – С. 9–14.
10. Сорта и перспективные образцы козлятника восточного селекции Псковского института сельского хозяйства / Т.В. Шайкова, В.С. Баева, Н.С. Рогозина, Т.Е. Кузьмина // Владимирский земледелец. – 2019. – № 4 (90). – С. 72–76.
11. Вагунин, Д.А. Луговые сеяные агроценозы на основе перспективных многолетних трав в условиях Верхневолжья / Д.А. Вагунин, Н.Н. Иванова // Кормопроизводство. – 2022. – № 5. – С. 3–7.
12. Косолапов, В.М. Исторические аспекты становления и развития лугового кормопроизводства в России и его перспективы в XXI веке / В.М. Косолапов, А.А. Кутузова // Кормопроизводство. – 2022. – № 2. – С. 3–8.
13. Biomass yield and energy balance of fodder galega in different production technologies: An 11-year field experiment in a large-area farm in Poland / B. Dubis, K.J. Jankowski, M.M. Sokolski, D. Zaluski, P. Borawski, W. Szemplinski // Renewable Energy. – 2020. – Vol. 154. – P. 813–825.
14. Symanowicz, B. Eastern galega (*Galega orientalis* lam.) as potential energy plant / B. Symanowicz, S. Kalembasa // Przemysl Chemiczny. – 2019. – Vol. 98. – № 1. – P. 48–51.

15. Possibilities of using fodder galega in the energy sector and agriculture / B. Symanowicz, M. Becher, S. Kalembasa, S. Jezowski // *Applied Ecology and Environmental Research*. –2019. – Vol. 17. – № 2. – P. 2677–2687.

References

1. Soboleva, T.N. (2015), Productivity and nutritional value of legume-cereal herbage with the participation of the eastern goat's-rue when pasture use, *Molochnohozyajstvennyj Vestnik*, vol. 1, pp. 48–54. (In Russ.)
2. Vagunin, D.A., Ivanova, N.N., Antsiferova, O.N., Abrosimova, N.N., Epifanova, N.A. (2021), Fodder agrophytocenoses of hay type based on new varieties of eastern goat's-rue, *Kormoproizvodstvo*, vol. 1, pp. 3–8. (In Russ.)
3. Vagunin, D.A., Ivanova, N.N., Abrosimova, N.N. (2018), Eastern goat's-rue -grass mixed with grasses on reclaimed lands in the conditions of the Non-Chernozem region, *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, vol. 4 (70), pp. 50–53. (In Russ.)
4. Lazarev, N.N., Kukharenkova, O.V., Kurenkova, E.M., Boitsova, A.Yu. (2021), Changes in yield and agrochemical indicators of soil during long-term cultivation of eastern goat's-rue (*Galega orientalis* Lam.), *Kormoproizvodstvo*, vol. 8, pp. 26–31. (In Russ.)
5. Baeva, V.S., Kuzmina, T.E. (2021), Promising varieties of eastern goat's-rue in the North-Western region of the Russian Federation, *Kormoproizvodstvo*, vol. 7, pp. 30–32. (In Russ.)
6. Zolotarev, V.N. (2021), Prospects and problematic aspects of the use of the eastern goat's-rue in the feed production of Russia: state and directions of breeding, *Kormoproizvodstvo*, vol. 5, pp. 35–46. (In Russ.)
7. Dronova, T.N., Burtseva N.I., Molokanova, E.I., Golovatyuk, O.V. (2015), The effect of fertilizer doses and irrigation on the productivity of the eastern goat's-rue in the Lower Volga region, *Plodorodie*, vol. 5 (86), pp. 30–32. (In Russ.)
8. Zolotarev, V.N., Korovina, V.L. (2021), A variety of eastern goat's-rue (*Galega orientalis* Lam.) with a marker sign, *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, vol. 1, pp. 6–14. (In Russ.)
9. Moiseeva, E.A., Shepeleva, L.F. (2016), Production processes during the introduction of eastern goat's-rue (*Galega orientalis* Lam.) in the conditions of the middle taiga of Western Siberia, *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, vol. 8 (119), pp. 9–14. (In Russ.)
10. Shaikova, T.V., Baeva, V.S., Rogozin, N.S., Kuzmina, T.E. (2019), Varieties and promising samples of eastern goat's-rue breeding of the Pskov Institute of Agriculture, *Vestnik Vladimirskij zemledec*, vol. 4 (90), pp. 72–76. (In Russ.)
11. Vagunin, D.A., Ivanova, N.N. (2022), Meadow seed agrocenoses based on promising perennial grasses in the conditions of the Upper Volga region, *Kormoproizvodstvo*, vol. 5, pp. 3–7. (In Russ.)
12. Kosolapov, V.M., Kutuzova, A.A. (2022), Historical aspects of the formation and development of meadow fodder production in Russia and its prospects in the XXI century, *Kormoproizvodstvo*, vol. 2, pp. 3–8. (In Russ.)
13. Dubis, B., Jankowski, K.J., Sokolski, M.M., Zaluski, D., Borawski, P., Szemplinski, W. (2020), "Biomass yield and energy balance of fodder galega in different production technologies: An 11-year field experiment in a large-area farm in Poland", *Renewable Energy*, vol. 154, pp. 813–825.
14. Symanowicz, B., Kalembasa, S. (2019), "Eastern galega (*Galega orientalis* lam.) as potential energy plant", *Przemysl Chemiczny*, vol. 98, no. 1, pp. 48–51.
15. Symanowicz, B., Becher, M., Kalembasa, S., Jezowski, S., (2019), "Possibilities of using fodder galega in the energy sector and agriculture", *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 2, pp. 2677–2687.

Сведения об авторах

Никулин Анатолий Борисович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры земледелия и луговодства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spm-код: 1458-1949.

Кокорина Антонина Леонидовна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spm-код: 6457-1524.

Ганусевич Федор Федоровича – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства им. И.А. Стебута, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 4049-0260.

Information about the authors

Anatoliy B. Nikulin – candidate of agricultural sciences, associate professor, associate professor of the department of agriculture and grassland management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 1458-1949.

Antonina L. Kokorina – doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of plant growing named after I.A. Stebut, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 6457-1524.

Fedor F. Ganusevich – doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of plant growing named after I.A. Stebut, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 4049-0260.

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 17.10.2022; одобрена после рецензирования 07.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 17.10.2022; approved after reviewing 07.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 581.192:663.86

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-37-46

РАЗРАБОТКА СИНБИОТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ, УЛУЧШАЮЩИХ КОМПЛЕКСНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЖНИВНО-КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА

**Наталья Александровна Коршунова¹, Петр Евгеньевич Баланов², Ирина
Владимировна Смотрева³**

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия; korshun236@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0726-2543>

²Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия; balanov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0610-9248>

³Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия; irinasmotraeva@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-1255-832X>

Реферат. Использование вторичного сырья для получения полезных продуктов является актуальным направлением исследований. Интересна возможность применения корней подсолнечника, поскольку они остаются в большом количестве после уборки урожая. Цель работы заключается в установлении возможности использования инулинсодержащего

экстракта из корня подсолнечника при создании функционального овсяного напитка, ферментированного молочнокислыми бактериями. Для достижения поставленной цели были определены содержание экстрактивных веществ, дубильных веществ и влажность. Корни подсолнечника также были исследованы на содержание инулина и подобран оптимальный сорт для приготовления экстракта. Была поставлена задача оценить возможность применения экстракта корня подсолнечника в пищевом продукте, для этого разработана технология функционального ферментированного овсяного напитка. Такого рода напитки обеспечивают сочетание функциональных свойств пробиотических культур с пребиотическими свойствами инулина из корня подсолнечника и являются синбиотическими продуктами. Для ферментации напитка были выбраны молочнокислые бактерии *Lactobacillus acidophilus*. Было исследовано несколько вариантов рецептов напитков. Представлена динамика изменения содержания инулина в процессе ферментации в течение 24 часов. Влажность образцов составила $13,52 \pm 0,87\%$, содержание экстрактивных веществ $22,49 \pm 0,17\%$ и содержание дубильных веществ $4,54 \pm 0,05\%$. Определено содержание инулина в наборе корней подсолнечника и выбран сорт Воронежский 638 с наибольшим содержанием инулина $17,6 \pm 0,05\%$. Разработана технология функционального ферментированного овсяного напитка, содержащего экстракт из корня подсолнечника. Исследование трех рецептов функционального напитка показало, что рецепт № 3 соответствует нормативам МР 2.3.1.1915-04 по содержанию инулина и молочнокислых бактерий в напитке.

Ключевые слова: корень подсолнечника, инулин, полисахарид, ресурсосбережение, фотоколориметрия, молочнокислые бактерии, функциональные продукты питания

Цитирование. Коршунова Н.А., Баланов П.Е., Смотраева И.В. Разработка синбиотического продукта питания на основе технологий, улучшающих комплексность переработки пожнивно-корневых остатков подсолнечника // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 37–46. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-37-46.

DEVELOPMENT OF A SYMBIOTIC FOOD PRODUCT BASED ON TECHNOLOGIES IMPROVING THE COMPLEXITY OF PROCESSING SUNFLOWER CROP AND ROOT RESIDUES

Natalia A. Korshunova¹, Petr E. Balanov², Irina V. Smotraeva³

¹ITMO University, Kronverksky avenue, 49, Saint-Petersburg, 197101, Russia; korshun236@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0726-2543>

²ITMO University, Kronverksky avenue, 49, Saint-Petersburg, 197101, Russia; balanov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0610-9248>

³ITMO University, Kronverksky avenue, 49, Saint-Petersburg, 197101, Russia; irinasmotraeva@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1255-832X>

Abstract. The use of secondary raw materials to obtain useful products is a topical area of research. The possibility of using sunflower roots is interesting, since the sunflower root remains in large quantities after harvesting. The purpose of the study was to determinate the possibility of using an inulin-containing extract from sunflower root in the creation of a functional oat drink fermented by lactic acid bacteria. To achieve this purpose, the content of extractives, tannins and moisture was determined. Sunflower roots were also examined for inulin content and the optimal variety was selected for the preparation of the extract. The task was also to evaluate the possibility of using sunflower root extract in a food product, for which the technology of a functional fermented oat drink was developed. Such drinks provide a combination of the functional properties of probiotic cultures with the prebiotic properties of sunflower root inulin and are thus synbiotic products. For the fermentation of the drink, lactic acid bacteria *Lactobacillus acidophilus* were chosen. Several variants

of drink formulations were investigated. The dynamics of changes in the content of inulin during fermentation for 24 hours is presented. The moisture content of the samples was $13.52 \pm 0.87\%$, the extractives content was $22.49 \pm 0.17\%$, and the tannins content was $4.54 \pm 0.05\%$. The inulin content in a set of sunflower roots was determined, and the variety Voronezhsky 638 with the highest inulin content of $17.6 \pm 0.05\%$ was selected. A technology has been developed for a functional fermented oatmeal drink containing sunflower root extract. The study of three functional drink recipes showed that recipe no. 3 complies with the MP 2.3.1.1915-04 standards for the content of inulin and lactic acid bacteria in the drink.

Keywords: *sunflower root, inulin, polysaccharide, resource saving, photocolometry, lactic acid bacteria, functional food*

Citation. Korshunova, N.A., Balanov P.E., Smotraeva, I.V. (2022), " Development of a synbiotic food product based on technologies improving the complexity of processing sunflower crop and root residues ", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4 pp. 37–46. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-37-46

Введение. В настоящее время развитие ресурсосберегающих технологий актуально для агропромышленного комплекса. Россия является одним из лидеров по производству подсолнечника. За последние десять лет посевные площади подсолнечника увеличились более чем на 20% и в 2019 г. достигли 8,5 млн га (рис. 1) [1]. Поскольку подсолнечник – это основная масличная культура, выращиваемая в промышленных масштабах, после уборки которой остается большое количество растительных остатков, интересна возможность использования стеблей и корней подсолнечника в качестве вторичных сырьевых ресурсов для получения биологически активных веществ, например фруктана и инулина. Более того, есть проверенные технологии и техника для уборки этой культуры. Это выгодно отличает подсолнечник от цикория и топинамбура, которые также являются инулинсодержащими культурами [2].

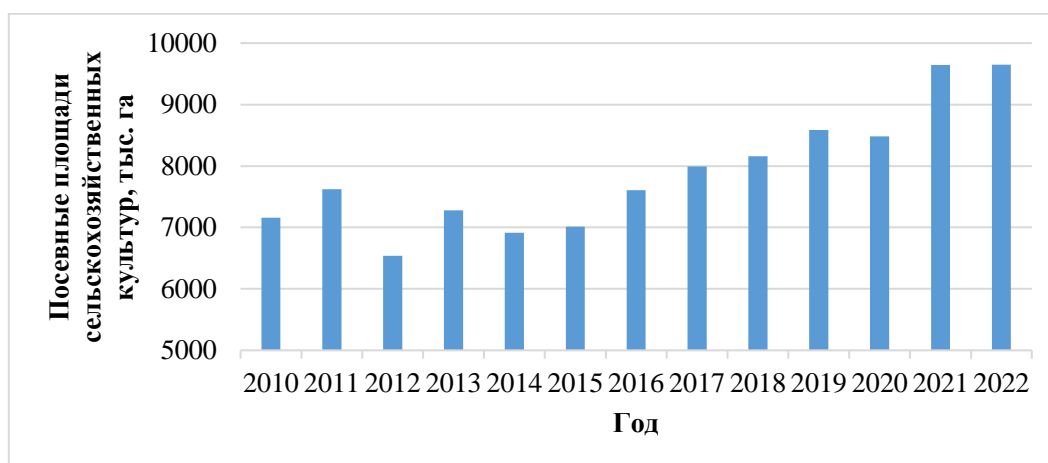


Рисунок 1. Посевные площади подсолнечника в хозяйствах всех категорий в России
Figure 1. Sown area of sunflower in farms of all categories in Russia

Инулин является пребиотиком, и это свойство вызывает основной интерес научных и промышленных кругов и используется в пищевых технологиях [3; 4]. Из-за β -связи остатков фруктозы, которая не гидролизуется ферментами пищеварительной системы человека, инулин не переваривается и не всасывается в большинстве частей пищеварительной системы человека. Инулин перемещается по желудочно-кишечному тракту в левую нисходящую кишку, где ферментируется полезными бактериями. Это благотворно влияет на микробиом желудочно-кишечного тракта [5].

Благодаря своим свойствам инулин активно используется в пищевой промышленности, особенно в создании функциональных продуктов питания [6]. При этом доля, приходящаяся

на продукты питания, имеет хороший потенциал для роста. Также можно наблюдать рост инулинсодержащих продуктов в кормах для животных.

Использование корня подсолнечника, содержащего инулин, для производства продуктов функционального назначения актуально в условиях развития заболеваний населения, связанных с несбалансированным питанием. Интересной возможностью является создание продукта, который также содержит пробиотические молочнокислые бактерии. Разработка ферментированных овсяных напитков позволит объединить функциональные свойства пробиотических культур с пребиотическими свойствами инулина из корня подсолнечника. Однако необходимо учитывать степень потребления инулина молочнокислыми микроорганизмами, чтобы создать баланс пребиотиков и пробиотиков и использовать преимущества этих двух компонентов [7; 8].

Цель исследования. Целью работы является установление возможности использования инулинсодержащего экстракта из корня подсолнечника в создании функционального овсяного напитка, ферментированного молочнокислыми бактериями.

Материалы, методы и объекты исследования. Для наших исследований использовали сушеный измельченный корень *Helianthus annuus*. Были отобраны три сорта и один гибрид подсолнечника. Гибрид первого поколения Кубанский 930 и сорт Воронежский 638 относятся к высокомасличным подсолнечникам. Сорта Лакомка и Солнечный круг относятся к кондитерским подсолнечникам.

Содержание инулина в экстракте определяли резорциновым методом. Методика отличается у различных авторов исследований, в нашем случае применялась методика, указанная в статье А.В. Яницкой, И.Ю. Митрофановой [9]. Метод основан на том, что инулин растворяется в воде, но не в 95%-ном спирте. Остальные фруктозиды, которые есть в корнях подсолнечника, растворимы в обоих растворителях. В получаемом спиртовом экстракте нет инулина, а водный экстракт содержит инулин и фруктозиды. Содержание инулина в корнях подсолнечника определяется как разность суммы фруктозидов и инулина и отдельно суммы фруктозидов, которые находят через определение оптической плотности водного и спиртового экстракта соответственно. В работе использовали фотоколориметр КФК-3.01. Оптическую плотность анализируемого образца измеряют на спектрофотометре при длине волны (480 ± 2) нм в кювете с толщиной слоя 10 мм относительно раствора сравнения.

Влажность, содержание экстрактивных веществ и содержание дубильных веществ определяли по методикам, описанным в ГОСТ 24027.2-80.

При приготовлении функционального напитка в качестве основного исследовательского материала использовали растительную основу измельченных овсяных хлопьев со степенью уплотнения 20%. Источником инулина служил корень подсолнечника сорта Воронежский 638. В качестве пробиотика использовали коммерчески доступную культуру микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus*, реализуемую в розничной торговой сети. В литературе отмечается, что лучше потребляют инулин бифидобактерии в сравнении с лактобактериями, но в нашем исследовании имело значение менее активное потребление инулина [10]. Поэтому были выбраны молочнокислые бактерии, которые, вероятно, будут оказывать пробиотическое действие, но менее активно потребляют инулин [11].

Исследуемые рецептуры ферментированного овсяного напитка представлены в табл. 1. Соотношение воды и дробленого овса было выбрано в результате предыдущих экспериментов. Выбор дозы экстракта инулина из корня подсолнечника определялся исходя из того, что необходимо учитывать рекомендуемые уровни потребления инулина, указанные в методических рекомендациях МР 2.3.1.1915-04, и при этом существенно не изменять овсяный вкус и аромат напитка (табл. 2). Доза молочнокислых организмов соответствует рекомендациям производителя.

Таблица 1. **Варианты рецептов ферментированного овсяного напитка**
Table 1. **Fermented oat drink recipe options**

	Рецепт №1	Рецепт №2	Рецепт №3
Измельченные овсяные хлопья, г/дм ³	150	150	150
Концентрат экстракта из корня подсолнечника, г/дм ³	20	30	40
Тип и дозировка молочнокислых бактерий	3*10 ⁶ КОЕ <i>Lactobacillus acidophilus</i>		

Таблица 2. **Теоретические основы разработки ферментированного овсяного напитка, обогащенного инулином, содержащимся в корне подсолнечника**
Table 2. **Theoretical background for the development of a fermented oat drink enriched with inulin contained in sunflower root**

Теоретически обоснованное содержание инулина в напитке после брожения, мг/100г	500 ± 50
Содержание суммы (среднее) фруктозидов и фруктанов в пересчете на инулин в напитке до брожения в исследованных образцах, мг/100г	690 ± 50
Содержание суммы (среднее) фруктозидов и фруктанов в пересчете на инулин в напитке после брожения в исследованных образцах, мг/100г	350 ± 50
Теоретически обоснованное количество молочно-кислых бактерий в напитке после брожения, КОЕ	1*10 ⁷
Полученное экспериментально содержание молочнокислых бактерий в напитке после брожения, КОЕ	1,2*10 ⁷

Процесс производства функционального напитка осуществлялся по следующим этапам:

1. Приготовление культуры молочнокислых бактерий (МКБ). Инкубацию проводили при 37°C в течение 12 часов.

2. Корень подсолнечника дробится до состояния дисперсности среднего размера не более 1 мм и экстрагируется в горячей воде 60 минут при температуре 75°C, полученный экстракт концентрируют в вакуум-выпарном аппарате.

3. Овсяное сырьё экстрагируется в горячей воде 60 минут при температуре 90°C, а затем диспергируется и фильтруется.

4. Внесение концентрата экстракта из корня подсолнечника в овсяную основу.

5. Охлаждение полученной овсяной основы с экстрактом корня подсолнечника до 35°C и определение содержания инулина в овсяной основе.

6. Внесение суспензии молочнокислых бактерий в овсяную основу с экстрактом из корня подсолнечника.

7. Ферментация овсяной основы с инулином и инкубированными молочнокислыми бактериями при 35°C в течение 24 часов.

8. Охлаждение сброженного напитка до 3–7°C.

9. Упаковка и хранение напитка.

Принципиальная схема ферментированного овсяного напитка с корнем подсолнечника представлена на рис. 2.

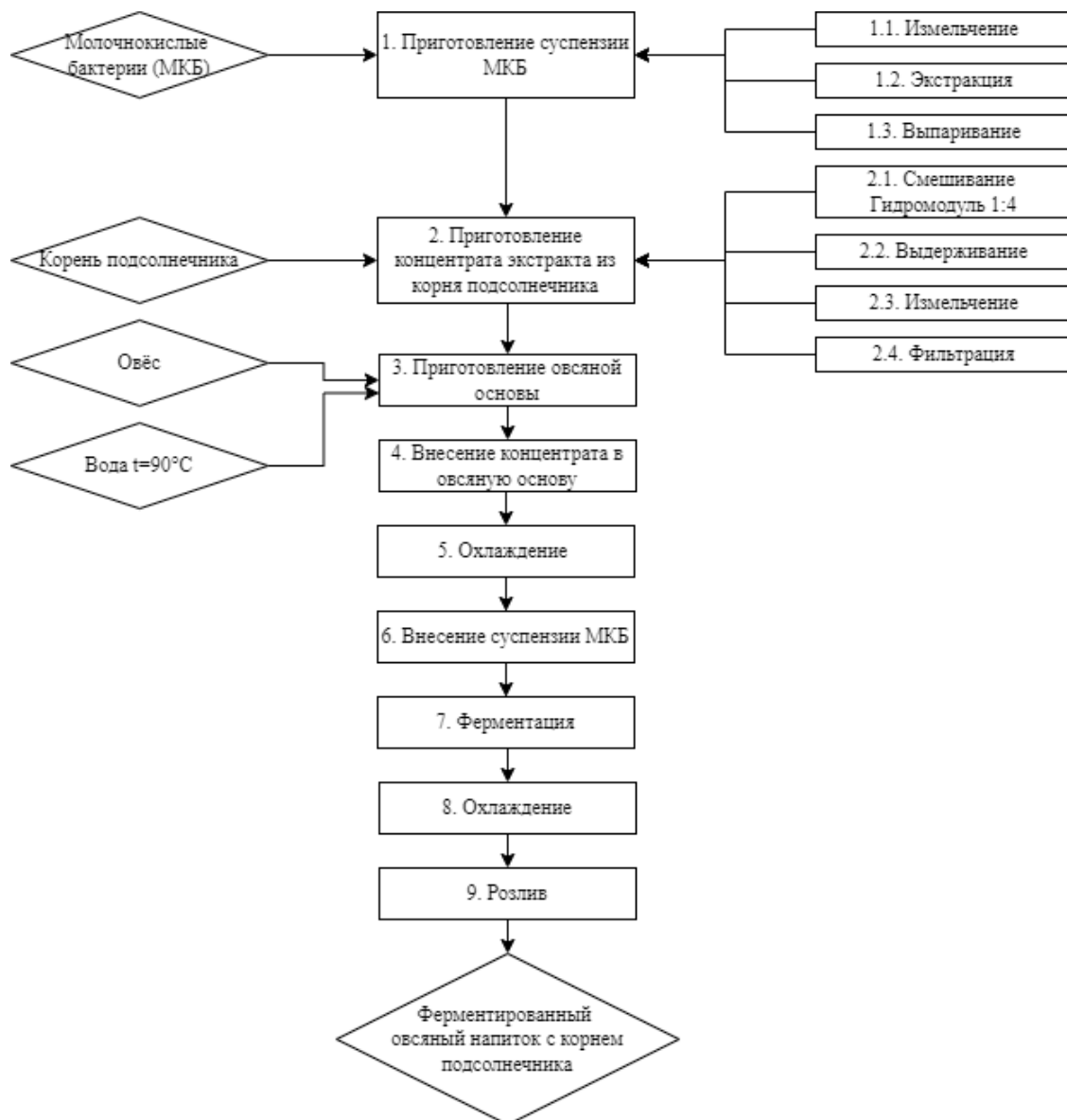


Рисунок 2. Технология ферментированного овсяного напитка
Figure 2. Technology of fermented oat drink

Результаты исследования. Исходя из доступной в настоящее время информации авторы исследовали корень подсолнечника на наличие инулина [12; 13]. В табл. 3 представлены результаты изучения корня подсолнечника в литературных источниках. Есть статьи, в которых определялось только общее содержание полисахаридов. Некоторые исследователи предполагают, что подсолнечник накапливает значительно меньше фруктанов по сравнению с родственными видами, но причина этого не была установлена [14]. Однако больше литературных источников о содержании фруктанов в однолетнем подсолнечнике найдено не было, поэтому мы исследовали корень подсолнечника, доступный на рынке, чтобы накопить данные о содержании инулина.

Таблица 3. Результаты определения содержания экстрактивных и дубильных веществ в корне подсолнечника

Table 3. The results of determining the content of extractive and tannins in sunflower root

Показатель	Литературные значения	Полученные значения
Влажность, %	$2,58 \pm 0,35$	$13,52 \pm 0,87$
Содержания экстрактивных веществ, %	$30,55 \pm 0,41$	$22,49 \pm 0,17$
Содержание дубильных веществ, %	$11,19 \pm 0,22$	$4,54 \pm 0,05$

Содержание экстрактивных веществ в исследуемой пробе меньше, чем в полученных ранее научных данных. Мы предполагаем, что это связано с использованием различного сырья, но результаты можно считать близкими к представленным в источниках. Содержание дубильных веществ значительно меньше по сравнению с научными данными, которые уже были опубликованы. Этот факт можно считать полезным, поскольку вяжущий аромат танина может повлиять на вкус разрабатываемого напитка. Кроме того, танин может связываться с полисахаридами, снижая их растворимость в воде.

Содержание инулина в исследованных корнях подсолнечника имеет определенный разброс значений (табл. 4). Наибольший интерес представляют масличные сорта подсолнечника, как наиболее распространенные в сельском хозяйстве. Среди отобранных образцов корня подсолнечника наиболее перспективным для извлечения инулина является сорт Воронежский 638. Содержание инулина в родственном для подсолнечника растении – топинамбуре составляет 35–60% от массы абсолютно сухого вещества. Также следует учитывать срок годности корня подсолнуха. Ряд исследователей доказывают снижение содержания инулина при хранении, причем на втором месяце хранения содержание инулина может уменьшиться на 50%. Поэтому вполне вероятно, что после уборки корня подсолнечника содержание инулина в нем было выше, что необходимо исследовать и учитывать при промышленном получении инулина из корня подсолнечника.

Таблица 4. Результаты определения содержания инулина в корне подсолнечника

Table 4. The results of determining the content of inulin in the sunflower root

Подсолнечник	Содержание инулина, %
Кубанский 930	$4,93 \pm 0,02$
Воронежский 638	$17,6 \pm 0,05$
Лакомка	$1,24 \pm 0,01$
Солнечный круг	$4,2 \pm 0,01$

Результаты определения содержания инулина в напитке до брожения и после брожения представлены на рис. 3.

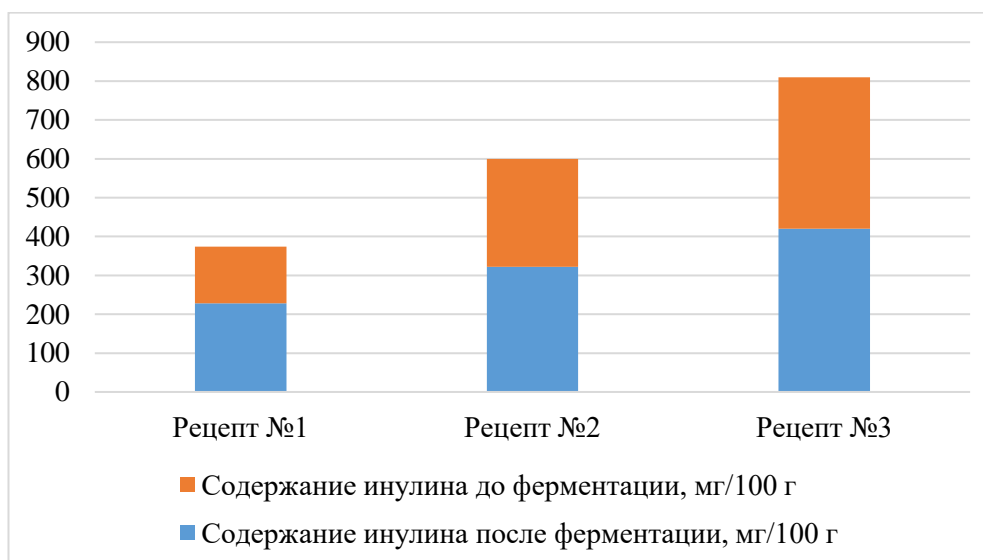


Рисунок 3. Динамика изменения содержания инулина при ферментации в течение 24 часов

Figure 3. The dynamics of changes in the content of inulin during fermentation for 24 hours

Полученные результаты в целом свидетельствуют о возможности использования овсяных хлопьев в качестве питательной среды для развития молочнокислых микроорганизмов. *Lactobacillus acidophilus* потребляет инулин из овсяного напитка, при этом в рецепте № 3 остается достаточно инулина, чтобы соответствовать нормативным требованиям.

Выводы. Таким образом, мы видим перспективный биопотенциал корня подсолнечника для экстракции инулина. Это позволит использовать в качестве вторичного ресурса растительные остатки от выращивания подсолнечника. Последующая разработка функционального пищевого продукта, содержащего инулин, может способствовать решению проблемы современного общества – некачественного несбалансированного питания. Наличие корня подсолнечника в промышленных масштабах в России отличает это сырье от других, таких как цикорий и топинамбур.

Определение содержания таких важных компонентов состава корня подсолнечника, как инулин, экстрактивные вещества, дубильные вещества, позволило нам разработать технологию ферментированного овсяного напитка и выбрать оптимальную рецептуру напитка.

Список источников литературы

1. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) 2022. – Посевные площади сельскохозяйственных культур. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 21.11.2022).
2. Popoola-Akinola, O.O. Lignocellulose, dietary fibre, inulin and their potential application in food / O.O. Popoola-Akinola, T.J. Raji, B. Olawoye // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8. – № 8. – С. e10459. – DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e10459.
3. The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review / X. Wan, H. Guo, Y. Liang, Ch. Zhou, Z. Liu, K. Li, F. Niu, X. Zhai, L. Wang // *Carbohydrate polymers*. – 2020. – Vol. 246. – P. 116589. – DOI 10.1016/j.carbpol.2020.116589
4. Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications / N. Gupta, A.K. Jangid, D. Pooja, H. Kulhari // *International journal of biological macromolecules*. – 2019. – Vol. 132. – P. 852–863. – DOI 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188
5. Inulin as a delivery vehicle for targeting colon-specific cancer / S. Chadha, A. Kumar, S.A. Srivastava, T. Behl, R. Ranjan // *Current Drug Delivery*. – 2020. – Vol. 17. – № 8. – pp. 651– 674. – DOI 10.2174/1567201817666200527133719.

6. Inulin Market – Transparency market research. – URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/inulin-market.html> (дата обращения: 21.11.2022).
7. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies / Q. Le Bastard, G. Chapelet, F. Javaudin, D. Lepelletier, E. Batard, E. Montassier // *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 39. – № 3. – P. 403–413. – DOI 10.1007/s10096-019-03721-w.
8. Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications / D. Ni, W. Xu, Y. Zhu, W. Zhang, T. Zhang, C. Guang, W. Mu // *Biotechnology advances*. – 2019. – Vol. 37. – № 2. – P. 306–318. – DOI 10.1016/j.biotechadv.2019.01.002.
9. Яницкая, А.В. Исследования по стандартизации инулинсодержащего лекарственного растительного сырья и противодиабетических комплексов / А.В. Яницкая, И.Ю. Митрофанова // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. – 2012. – № 4 (44). – С. 80–82.
10. Food for thought! Inulin-type fructans: Does the food matrix matter? / P.P.J. Jackson, A. Wijeyesekera, S. Theis, J. van Harsselaar, R.A. Rastall // *Journal of Functional Foods*. – 2022. – Vol. 90. – P. 104987. – DOI 10.1016/j.jff.2022.104987.
11. Probiotics: An Update to Past Researches / R. Shirazinia, A.A. Golabchifar, A.P. Mishkar, M.R. Fazeli // *International Journal of Basic Science in Medicine*. – 2020. – Vol. 5. – № 3. – P. 68–84. – DOI 10.34172/ijbsm.2020.14.
12. Якупова, А.Б. Сравнительный анализ содержания сахаров и флавоноидов в культурах волосовидных корней подсолнечника *Heliantus annuus L* / А.Б. Якупова, Х.Г. Мусин, Б.Р. Кулуев // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. – 2020. – Т. 23. – № 9. – С. 9–18.
13. Фитохимическое и фармакологическое изучение корней подсолнечника однолетнего / И.В. Пшукова, Д.А. Коновалов, В.А. Карпенко, Л.В. Лигай, С.А. Кулешова // *Химия растительного сырья*. – 2014. – № 2. – С. 189–194.
14. Sunflower: a potential fructan-bearing crop? / G.M. Martínez-Noël, G.A. Dosio, A.F. Puebla, E.M. Insani, J.A. Tognetti // *Frontiers in plant science*. – 2015. – Vol. 6. – P. 798. – DOI 10.3389/fpls.2015.00798.

References

1. *The Unified Interdepartmental Statistical Information System (UISIS)* (2022), Cultivated areas of agricultural crops, available at: <https://rosstat.gov.ru/>, accessed 21.11.2022.
2. Popoola-Akinola, O.O., Raji, T.J., Olawoye, B. (2022), Lignocellulose, dietary fibre, inulin and their potential application in food, *Heliyon*, vol. 8, no. 8, pp. e10459, DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e10459.
3. Wan, X., Guo, H., Liang, Y., Zhou, Ch., Liu, Z., Li, K., Niu, F., Zhai, X., Wang L. (2020), The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review, *Carbohydrate polymers*, vol. 246, p. 116589, DOI 10.1016/j.carbpol.2020.116589.
4. Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., Kulhari H., (2019), Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications, *International journal of biological macromolecules*, vol. 132, pp. 852–863, DOI 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188.
5. Chadha, S., Kumar, A., Srivastava, S.A., Behl, T., Ranjan, R., (2020), Inulin as a delivery vehicle for targeting colon-specific cancer, *Current Drug Delivery*, vol. 17, no. 8, pp. 651–674, DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e10459.
6. Inulin Market – Transparency market research, available: <https://www.transparencymarketresearch.com/inulin-market.html>, accessed 21.11.2022.
7. Le Bastard, Q., Chapelet, G., Javaudin, F., Lepelletier, D., Batard, E., & Montassier, E. (2020), The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies, *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, vol. 39, no. 3, pp. 403 – 413, DOI 10.1007/s10096-019-03721-w.
8. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C., & Mu, W. (2019), Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications, *Biotechnology advances*, vol. 37, no. 2, pp. 306–318, DOI 10.1016/j.biotechadv.2019.01.002.

9. Yanitskaya, A. V., Mitrofanova, I. Yu. (2012), Research on the standardization of inulin-containing medicinal plant materials and antidiabetic complexes, *Journal of Volgograd State Medical University*, no. 4 (44), pp. 80–82. (In Russ.).
10. Jackson, P.P.J., Wijeyesekera, A., Theis, S., van Harsselaar, J., & Rastall, R.A. (2022). Food for thought! Inulin-type fructans: Does the food matrix matter? *Journal of Functional Foods*, Vol. 90, pp. 104987, DOI 10.1016/j.jff.2022.104987.
11. Shirazinia, R., Golabchifar, A. A., Mishkar, A. P., & Fazeli, M. R. (2020), Probiotics: An Update to Past Researches, *International Journal of Basic Science in Medicine*, vol. 5, no. 3, pp. 68–84, DOI 10.34172/ijbsm.2020.14.
12. Iakupova, A.B., Musin, Kh.G., Kuluev, B.R. (2020), Comparative analysis of the content of sugars and flavonoids in crops of hairy roots of sunflower *Heliantus annuus L.*, *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, vol. 23, no. 9, pp. 9–18. (In Russ.).
13. Pshukova, I.V., Konovalov, D.A., Karpenko, V.A., Ligai, L.V., Kuleshova, S.A. (2014), Phytochemical and pharmacological study of the roots of annual sunflower, *Chemistry of plant raw material*, no. 2, pp. 189–194. (In Russ.).
14. Martínez-Noël, G.M., Dosio, G.A., Puebla, A.F., Insani, E.M., & Tognetti, J.A. (2015), Sunflower: a potential fructan-bearing crop? *Frontiers in plant science*, vol. 6, pp. 798, DOI 10.3389/fpls.2015.00798.

Сведения об авторах

Коршунова Наталья Александровна – аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

Баланов Петр Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

Смотряева Ирина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

Information about the authors

Natalia A. Korshunova – postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "ITMO University".

Petr E. Balanov – PhD of technical sciences, Associate Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "ITMO University".

Irina V. Smotraeva – PhD of technical sciences, Associate Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "ITMO University".

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья поступила в редакцию 29.09.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 14.12.2022.

The article was submitted 29.09.2022; approved after reviewing 30.11.2022; 2022; accepted after publication 14.12.2022.

Научная статья
УДК 636.4.087.8:615
doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-47-56

АКТИВНОСТЬ ФОСФАТАЗЫ, УРЕАЗЫ И ИНВЕРТАЗЫ В ДЕРНОВО-СЛАБОПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ ПОД БОРЩЕВИКОМ СОСНОВСКОГО

Тамара Васильевна Родичева¹, Рафина Саидметовна Гамзаева²,
Оксана Федоровна Ивахнова³

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; trodiceva@mail.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; r.gamzaeva@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-4079-1815>

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; oxioma83@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-6088-6996>

Реферат. Биологическая активность – важный показатель экологического состояния почв. Среди показателей биологической активности почв выделяется активность почвенных ферментов. Активность ферментов представляет собой своеобразную ответную реакцию почвы на влияние, оказываемое различными факторами, как природными, так и антропогенными. Ферменты – это сложные белковые соединения или их комплексы, являющиеся катализаторами химических и биохимических реакций, которые протекают в почве. Ферментативная активность почв – более устойчивый и чувствительный показатель биологической активности, чем интенсивность протекания микробиологических процессов, численность и состав микробного пула. Активность ферментов в почвах представляет собой результат совокупности процессов поступления, иммобилизации и действия ферментов в почве. При этом в почвах отмечается наибольшее разнообразие ферментов. Целью данной работы является изучение влияния борщевика Сосновского на некоторые показатели биологической активности почв. В задачи исследования входило определение уровня активности почвенных ферментов в дерново-подзолистых почвах, длительно находящимся под борщевиком Сосновского. В работе изучена активность некоторых почвенных ферментов – фосфатазы, уреазы и инвертазы – в дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве под влиянием борщевика Сосновского в весенний период. Образцы почв отбирались под борщевиком Сосновского и естественной травянистой растительностью в начале вегетационного периода. Отбор образцов почвы производился в Тосненском районе близ Федоровского городского поселения – д. Пионер и д. Аннолово, где существуют участки с многолетними зарослями борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*). В образцах почвы, находящейся под моносообществом борщевика Сосновского, отмечалась высокая активность фермента фосфатазы и уреазы, показатель активности инвертазы либо характеризуется как очень слабый, либо вообще отсутствует.

Ключевые слова: биологическая активность почв, почвенные ферменты, дерново-подзолистые почвы, борщевик Сосновского

Цитирование. Родичева Т. В., Гамзаева Р. С., Ивахнова О. Ф. Активность фосфатазы, уреазы и инвертазы в дерново-слабоподзолистой суглинистой почве под борщевиком Сосновского // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4. – С. 47–56. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-47-56

**PHOSPHATASE, UREASE AND INVERTASE ACTIVITY IN SODDY-WEAKLY
PODZOLIC MEDIUM LOAMY SOIL UNDER SOSNOVSKY'S HOGWEED****Tamara V. Rodicheva¹, Rafina S. Gamzaeva², Oksana F. Ivakhnova³**

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; trodiceva@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; r.gamzaeva@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4079-1815>

³Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; oxioma83@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6088-6996>

Abstract. Biological activity is an important indicator of the ecological condition of soil. Soil enzyme activity is among the indicators of soil biological activity. The activity of enzymes is the response of the soil to the influence exerted by various factors, both natural and anthropogenic. Enzymes are complex protein compounds or their complexes, which are catalysts for chemical and biochemical reactions occurring in the soil. Soil enzymatic activity is a more stable and sensitive indicator of biological activity than the intensity of microbiological processes, the abundance and composition of the microbial pool. The activity of enzymes in soils is the result of a combination of processes of entry, immobilization and action of enzymes in the soil. At the same time, the greatest diversity of enzymes is observed in soils. The purpose of this work is to study the influence of Sosnowsky's hogweed on some indicators of the biological activity of soils. The objectives of the study included determining the level of activity of soil enzymes in soddy-podzolic soils that have been under Sosnowsky's hogweed for a long time. The activity of phosphatase, urease and invertase in sod-weakly podzolic medium loamy soil under the influence of Hogweed Sosnowski in the spring period has been examined in the work. Soil samples was taken under Sosnowski's hogweed and natural herbaceous vegetation at the beginning of the growing season. Soil sampling was carried out in the Tosnensky district near the Fedorovsky urban settlement, the villages of Pioner and the village of Annolovo, where there are areas with perennial thickets of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*). In soil samples under the monocommunity of Sosnowsky's hogweed, a high activity of the enzyme phosphatase and urease was noted; the indicator of invertase activity is characterized as very weak or absent.

Keywords: *biological activity of soils, soil enzymes, soddy-podzolic soils, Sosnowski's hogweed*

Citation. Rodicheva, T.V., Gamzaeva, R.S., Ivakhnova, O.F. (2022), "Phosphatase, urease and invertase activity in soddy-weakly podzolic medium loamy soil under Sosnowsky's hogweed", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 47–56. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-47-56

Введение. Для диагностики экологического состояния почв активно используются биологические показатели, которые зачастую оказываются более действенными в тех случаях, когда изучение традиционных морфогенетических, агрофизических или агрохимических показателей не дает возможность наиболее полно раскрыть вероятную реакцию экосистемы на какие-либо влияния.

К факторам, активно влияющим на показатели биологической активности почв, относятся корневые выделения растений естественных и культурных фитоценозов.

В сельскохозяйственной практике широко известны явления фитотоксичности и почвоутомления, возникающие при бессменном возделывании сельскохозяйственных культур не только одного семейства, но и при высоком насыщении севооборотов одной группы, как результат нарушения экологического равновесия в системе почва – растение. Фитотоксичные

свойства на определенных стадиях разложения имеют остатки практически всех культур, но в разной степени [1].

Одним из важнейших показателей активности биологических процессов и экологического состояния почв является активность почвенных ферментов. Ферментативная активность почвы – это элементарная почвенная характеристика. Активность ферментов является ответной реакцией почвы на влияние, оказываемое различными факторами – как природными, так и антропогенными.

Активность ферментов зависит от биоразнообразия [2], качественного состава почвы [3; 4], времени года и экологического состояния окружающей среды [5]. Активность ферментов является более устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв, чем интенсивность микробиологических процессов, численность и состав микрофлоры и фауны. Обычно активность ферментов максимальна в верхних наиболее биогенных почвенных горизонтах и вниз по почвенному профилю падает, что связано с уменьшением запасов органического вещества, меньшим количеством животных, микроорганизмов, корней растений в нижних горизонтах.

Ферментативная активность почвы складывается в результате совокупности процессов поступления, иммобилизации и действия ферментов в почве. Накапливаясь в почве, ферменты становятся неотъемлемым реактивным компонентом экосистемы. Почва является самой богатой системой по ферментному разнообразию. Разнообразие и богатство ферментов в почве позволяет осуществляться последовательным биохимическим превращениям различных поступающих органических остатков [6]. Ферментативная активность затрагивает наиболее важные повторяющиеся превращения в биохимических циклах углерода, азота, фосфора, серы и других соединений. Функциональная роль ферментов как катализаторов в почвенных процессах огромна. В почве функционируют системы ферментов, последовательно осуществляющие биохимические реакции, выполняющие материальные и энергетические обмены, в основе которых лежат синтетические и деструктивные функции. Под действием ферментов органические вещества почвы распадаются до различных промежуточных и конечных продуктов минерализации. При этом образуются доступные растениям и микроорганизмам питательные вещества, а также высвобождается энергия [7; 8].

Сказанное выше применимо для культурных фитоценозов. Нами была предпринята попытка рассмотреть эти явления при изучении фитоценозов, находящихся под влиянием борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*). Борщевик Сосновского является инвазивным видом, нехарактерным для нашей зоны, но очень агрессивным и чрезвычайно устойчивым. Быстро разрастающаяся поросль борщевика Сосновского активно вытесняет аборигенные виды растений, с каждым годом осваивая все новые территории, продвигаясь дальше на север и затрагивая не только травянистые, но и смешанные и древесные формации. Под многолетними зарослями борщевика Сосновского сохраняются лишь единичные виды растений, а поверхность почвы под крупными и мясистыми листьями может быть вообще лишена и травянистой, и моховой растительности. Такая ситуация может быть обусловлена как чрезвычайно сильной конкурентной способностью борщевика Сосновского к поглощению элементов питания, влаги и солнечного тепла, его огромной биомассой, так и аллелопатическими свойствами его корневых выделений, ингибирующих рост и развитие растений и изменяющих состав и численность почвенных микроорганизмов. Установлено, что все органы *Heracleum sosnowskyi* обладают высокой аллелопатической активностью по отношению к совместно произрастающим растениям [9], водные вытяжки из них уже при малых дозах действуют как ингибиторы роста и снижают энергию прорастания семян ржи посевной и тимофеевки луговой.

Цель исследования. В связи с изложенным выше мы попытались установить, оказывает ли борщевик Сосновского какое-либо существенное воздействие на некоторые показатели биологической активности, в частности на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы. В задачи исследования входило определение уровня активности в

дерново-слабоподзолистых суглинистых почвах, длительно находящихся под борщевиком Сосновского, таких почвенных ферментов, как фосфатаза, уреазы и инвертазы. В качестве сравнения были отобраны образцы почвы на соседних почвенных участках, где поросль борщевика Сосновского не визуализировалась.

Материалы, методы и объекты исследования. Для проведения аналитических работ по определению почвенных ферментов были отобраны образцы почв под борщевиком Сосновского и естественной травянистой растительностью в начале вегетационного периода в трех разных точках. Объектом исследования является дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая почва. Отбор образцов почвы производился в Тосненском районе близ Федоровского городского поселения – д. Пионер и д. Аннолово, где существуют участки с многолетними зарослями борщевика Сосновского.

Пробы почв были взяты непосредственно под борщевиком Сосновского и вне ризосферы. Почвенные образцы отбирались стерильным инструментом на глубину до 20 см и сразу же помещались в сумку-холодильник с охлаждающими элементами. Определение ферментативной активности проводилось в течение 1 суток после отбора почвенных образцов. Для упрощения образцы были обозначены буквами и цифрами. Контролем служит субстрат без почвы и почва, стерилизованная сухим жаром. Нами были рассмотрены следующие образцы:

– T1 – образцы отобраны у д. Пионер, растительность представлена разнотравьем: одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), щавель малый (*Rumex acetosella*), звездчатка злаковая (*Stellaria graminea*), мышинный горошек (*Vicia cracca*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*);

– T1 под борщевиком – образцы отобраны у д. Пионер, растительность представлена, главным образом, борщевиком Сосновского, присутствуют единичные растения ежи сборной (*Dactylis glomerata*);

– T2 – образцы отобраны у д. Аннолово, растительность представлена, главным образом, злаками – ежой, волоснецом, лисохвостом, тимофеевкой (*Dactylis glomerata*, *Elymus repens*, *Alopecurus pratensis*, *Phleum pratense*) – с примесью одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium*);

– T2 под борщевиком – образцы отобраны у д. Аннолово, растительность представлена моносообществом борщевика Сосновского, в наземном ярусе зеленые гипновые мхи (*Bryidae*), составляющие 25 % наземного покрытия;

– T3 – образцы отобраны у Федоровского городского поселения, растительность представлена кипреем узколистным (*Chamaenerion angustifolium*);

– T3 под борщевиком – образцы отобраны у Федоровского городского поселения, растительность представлена борщевиком Сосновского.

Отбор почвенных образцов проводился трижды через каждые две недели с 23 апреля по 1 июня 2019 г.

В качестве оценки уровня активности почвенных ферментов использована классификационная шкала Д. Г. Звягинцева [10].

Определение активности фосфатазы осуществлялось методом А. Ш. Галстяна и Э. А. Арутюняна, инвертазы – методом В.Ф. Купревича, уреазы – методом А. Ш. Галстяна в модификации Хазиева [11; 12].

Результаты исследования. Полученные в ходе анализа сводные данные по содержанию почвенных ферментов в дерново-подзолистых почвах под различными растительными ассоциациями представлены в табл. 1 (фосфатаза), табл. 2 (уреазы) и табл. 3 (инвертазы). Изменение активности ферментов в динамике представлено на рис. 1 (фосфатаза), рис. 2 (уреазы) и рис. 3 (инвертазы).

Таблица 1. Содержание фермента фосфатазы в почвенных образцах под различными растительными ассоциациями

Table 1. Phosphatase enzyme content in soil samples under various plant associations

Дата	Показатель	Образцы почв					
		T ₁	T ₁ под борщевиком	T ₂	T ₂ под борщевиком	T ₃	T ₃ под борщевиком
23.04.19	Фосфатаза, мг/10г /ч	1,26	3,46	1,94	4,14	2,0	5,26
18.05.19		1,26	2,94	1,0	1,74	0,86	4,26
01.06.19		1,86	2,86	2,06	2,2	2,2	3,26

Активность фосфатазы проявляется во всех образцах почвы. В почвах под борщевиком Сосновского во всех трех образцах отмечается более высокая активность фосфатазы по сравнению с вариантом почвы без присутствия борщевика. Активность фосфатазы колеблется от 2,2 до 5,26 мг/10г /ч, при этом минимальное значение активности этого фермента под борщевиком Сосновского сравнимо с максимальной активностью, отмеченной на участке с кипреем узколистным (2,2 мг/10г /ч).

Оценка биологической активности почв производится с помощью балльной шкалы Звягинцева. Результаты активности можно представить следующим образом:

- T₁ – слабая;
- T₁ под борщевиком – средняя;
- T₂ – 23.04.19 и 01.06.19 – средняя, а 18.05.19 – слабая;
- T₂ под борщевиком – средняя;
- T₃ – 23.04.19 и 01.06.19 – средняя, а 18.05.19 – слабая;
- T₃ под борщевиком – 23.04.19 – высокая, а 18.05.19 и 01.06.19 – средняя.

В период с апреля по июнь в активности фосфатазы отмечаются некоторые колебания, но максимум её активности в почвах под борщевиком Сосновского приходится на конец апреля (рис.1).

Таким образом, активность фосфатазы в период отбора образцов в дерново-подзолистой почве под борщевиком Сосновского была высокой в апреле и постепенно снижалась до средней. Под разнотравьем активность фосфатазы в основном слабая.

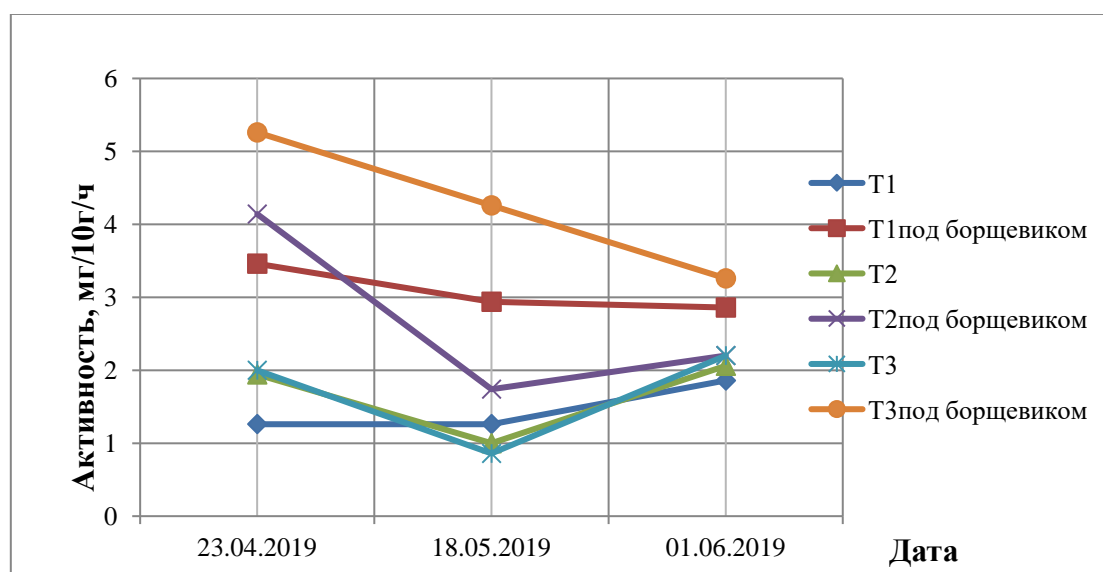


Рисунок 1. Изменение активности фермента фосфатазы в динамике
Figure 1. Changes in the activity of the enzyme phosphatase over time

Активность уреазы проявляется у всех образцов по-разному. Очень высокие значения активности этого почвенного фермента отмечаются в четырех образцах из шести в апреле (2400–7415 мг/10г в сут.) и отсутствуют в последующих образцах (табл. 2).

Таблица 2. Содержание фермента уреазы в почвенных образцах под различными растительными ассоциациями
Table 2. The content of the urease enzyme in soil samples under various plant associations

Дата	Показатель	Образцы почв					
		T ₁	T ₁ под борщевиком	T ₂	T ₂ под борщевиком	T ₃	T ₃ под борщевиком
23.04.19	Уреаза, мг/10г в сут.	–	–	7415	5800	6935	2400
18.05.19		85	–	–	–	–	–
01.06.19		3,17	–	–	0,5	142,5	–

Изменение активности фермента уреазы в динамике представлено на рис. 2. При этом уровень активности уреазы под разнотравной растительностью значительно выше, чем в почвенных образцах с борщевиком Сосновского:

- T₁ – отсутствует;
- T₂– 23.04.19 – очень высокая, 18.05.19 и 01.06.19 – отсутствует;
- T₂ под борщевиком – 23.04.19 – очень высокая, 01.06.19 – очень слабая, 18.05.19 – отсутствует;
- T₃ – 23.04.19 и 01.06.19 – очень высокая, 18.05.19 – отсутствует;
- T₃ под борщевиком – 23.04.19 – очень высокая, а 18.05.19 и 1.06.19 – отсутствует.

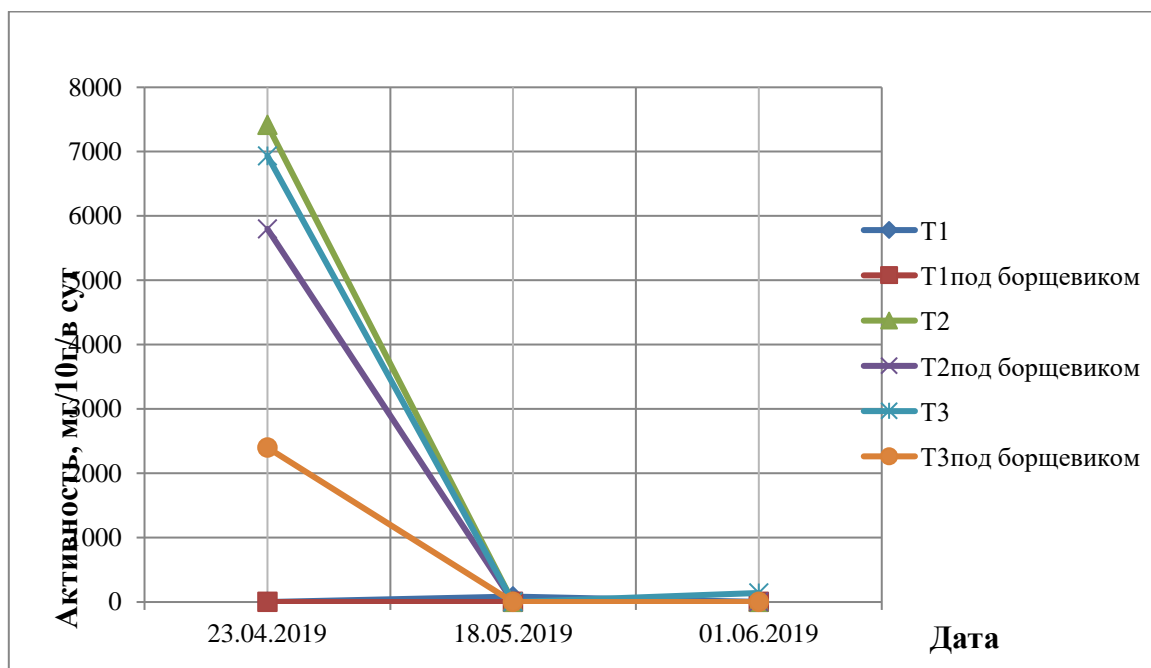


Рисунок 2. Изменение активности фермента уреазы в динамике
Figure 2. Changes in the activity of the urease enzyme over time

Активность инвертазы также проявляется не во всех исследуемых почвенных образцах (табл. 3).

Таблица 3. Содержание фермента инвертазы в почвенных образцах под различными растительными ассоциациями
Table 3. The content of the enzyme invertase in soil samples under various plant associations

Дата	Показатель	Образцы почв					
		T ₁	T ₁ под борщевиком	T ₂	T ₂ под борщевиком	T ₃	T ₃ под борщевиком
23.04.19	Инвертаза, мг/г в сут.	0,14	0,15	0,18	–	0,13	0,14
18.05.19		0,18	–	–	–	0,21	–
01.06.19		0,18	0,15	0,15	0,19	–	0,14

В почвах под разнотравной растительностью активность инвертазы в основном очень слабая, в почвенных образцах под борщевиком Сосновского – очень слабая или отсутствует (рис. 3).

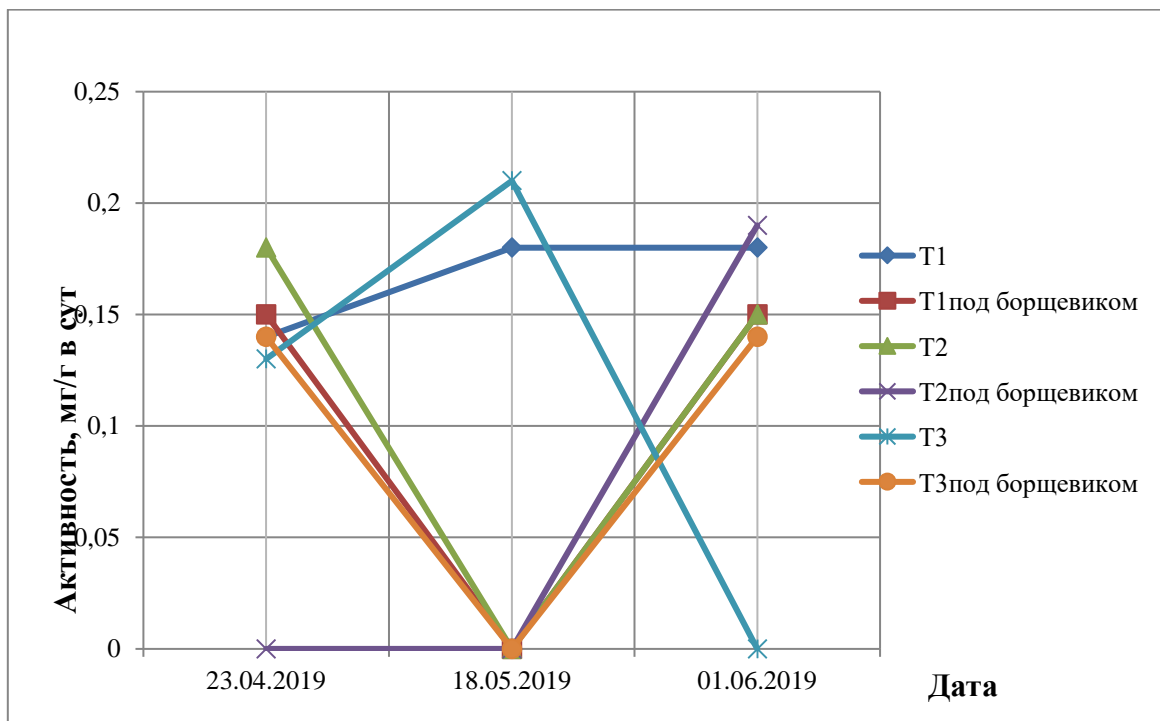


Рисунок 3. Изменение активности фермента инвертазы в динамике
Figure 3. Changes in the activity of the enzyme invertase over time

Оценка биологической активности инвертазы в исследуемых образцах почв:

- T₁ – очень слабая;
- T₁ под борщевиком – очень слабая либо отсутствует;
- T₂ – очень слабая либо отсутствует;
- T₂ под борщевиком – отсутствует либо очень слабая;
- T₃ – очень слабая либо отсутствует;
- T₃ под борщевиком – очень слабая либо отсутствует.

Выводы. Активность почвенных ферментов в дерново-подзолистых почвах под разными растительными ассоциациями оказалась весьма различной во времени и в пространстве.

В образцах почвы, находящейся под многолетними зарослями борщевика Сосновского, отмечалась высокая активность лишь фермента фосфатазы по сравнению с вариантами без борщевика, активность этого фермента весной характеризуется как высокая, а в конце весны – начале лета отмечается ее постепенное снижение.

Активность уреазы в почвах колеблется в очень широких пределах: отмечается чрезвычайно высокая активность уреазы в апреле как под борщевиком, так и под разнотравьем, а затем активность резко снижается или отсутствует.

Показатель активности инвертазы во всех исследуемых образцах либо характеризуется как очень слабый, либо вообще отсутствует.

Список источников литературы

1. Кирюшин, В.И. Агротомическое почвоведение / В. И. Кирюшин. — Санкт-Петербург: Квадро, 2021. — 680 с. — ISBN 978-5-906371-02-7.
2. Зинченко, М.К. Ферментативный потенциал агроландшафтов серой лесной почвы Владимирского ополья / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1. — С. 1319–1323.
3. Nannipieri, P. Role of phosphatase Enzymes in soil / P. Nannipieri, L. Giagnoni, I. Landi // Soil Biology. — Berlin: Springer-Verlag, 2015. — Vol. 26. — P. 57–90.
4. Новоселова, Е. И. Влияние моно- и полизагрязнения тяжелыми металлами на ферментативную активность почв / Е. И. Новоселова, О. О. Волкова // Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. — Белгород, 2016. — Ч. 1. — С. 193–194.
5. Самусик, Е. А. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов / Е. А. Самусик, С. Е. Головатый // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. — 2022. — № 1. — С. 104–113.
6. Фомин, Д. С. Влияние видов землепользования на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы / Д. С. Фомин, М. Т. Васбиева, Н. Е. Завьялова // Плодородие. — 2020. — № (116). — С. 25–28.
7. Хазиев, Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук РБ. — 2015. — Т. 20. — № 2 (78) — С. 14–24.
8. Хазиев, Ф. Х. Экологические связи ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев // Экобиотех. — 2018. — Т. 1. — № 2. — С. 80–82.
9. Чегодаева, Н. Д. Аллелопатическое влияние Борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi manden*) на культурные растения / Н. Д. Чегодаева, Т. А. Маскаева, М. В. Лабутина // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2, ч. 26. — С. 5845–5849.
10. Миркин, Б. М. Основы общей экологии / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. — Москва: Университетская книга, 2015. — 200 с.
11. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко, А. А. Борин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. — 2017. — № 3. — С. 143.
12. Гамзаева, Р. С. Почвенные ферменты: учебно-методическое пособие к практическим занятиям для обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 Агротомия и агропочвоведение / Р. С. Гамзаева. — Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2018. — 56 с.

References

1. Kiryushin, V.I. (2021), *Agronomicheskoe pochvovedenie* [Agronomic soil science], Sankt-Peterburg, Quadro, 680 p. ISBN 978-5-906371-02-7. (In Russ.)
2. Zinchenko, M.K., Zinchenko, S.I. (2015), Enzymatic potential of agrolandscapes of gray forest soil of the Vladimir opolye, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, no. 1, pp. 1319–1323. (In Russ.)
3. Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, I. (2015), Role of phosphatase Enzymes in soil, *Soil Biology*, Berlin Springer-Verlag, vol. 26, pp. 57–90.
4. Novoselova, E. I., Volkova, O. O. (2016), Vliyanie mono- i polizagryazneniya tyazhelymi metallami na fermentativnyuyu aktivnost' pochv [The influence of mono- and polypollution with heavy metals on the enzymatic activity of soils], *Tez. Dokladov VII s"ezda Obshchestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva*, Belgorod, ch. 1, pp. 193–194. (In Russ.)

5. Samusik, E. A. Golovatyj S. E. (2022), Enzymatic activity of soddy-podzolic soils under the influence of emissions from an enterprise producing building materials, *ZHurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya*, no. 1, pp. 104–113. (In Russ.)
6. Fomin, D. S., Vasbieva M. T., Zav'yalova N. E. (2020), Influence of land use types on the enzymatic activity of soddy-podzolic soil, *Plodorodie*, no. 5 (116), pp. 25–28. (In Russ.)
7. Haziev, F. H. (2015), Functional role of enzymes in soil processes, *Vestnik Akademii nauk RB*, vol. 20, no. 2 (78), pp. 14–24. (In Russ.)
8. Haziev, F. H. (2018), Ecological connections of soil enzymatic activity, *Ekobiotekh*, vol. 1, no. 2, pp. 80–82. (In Russ.)
9. Chegodaeva, N. D., Maskaeva, T. A., Labutina, M. V. (2015), Allelopathic influence of Hogweed Sosnowsky (Heracleum Sosnowskyi manden) on cultivated plants, *Fundamental research*, no. 2, part 26, pp. 5845–5849. (In Russ.)
10. Mirkin, B. M., Naumova, L. G. (2015), *Osnovy obshchej ekologii* [Fundamentals of General Ecology], Moskva, Universitetskaya kniga, 200 p. (In Russ.)
11. Zinchenko, M. K., Zinchenko, S. I., Borin, A. A. [et al.] (2017), Enzymatic activity of agricultural soils of the Upper Volga region, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, no. 3, p. 143. (In Russ.)
12. Gamzaeva, R. S. (2018), *Pochvennie fermenti: Uchebno-metodicheskoe posobie k prakticheskim zanyatiyam dlya obuchayuschihся po napravleniyu podgotovki 35.04.03 Agrochemistry and agrosil science* [Soil enzymes: a teaching aid for practical exercises for students in the field of study 35.04.03 Agrochemistry and agrosil science], St. Petersburg, SPbGAU Publishing House, 56 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Родичева Тамара Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л. Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018.

Гамзаева Рафина Саидметовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л. Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2391-6208, Scopus author ID: 572211335221

Ивахнова Оксана Федоровна – старший преподаватель кафедры почвоведения и агрохимии им. Л. Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 4484-4840.

Information about the authors

Tamara V. Rodicheva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018.

Rafina S. Gamzaeva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 2391-6208, Scopus author ID: 572211335221.

Oksana F. Ivakhnova – Senior Lecturer, Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-код: 4484-4840.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. 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 made an equivalent contribution to the preparation of the publication. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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

Статья поступила в редакцию 29.09.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 01.01.2021; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 635.552

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-56-66

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ ЭНДИВИЯ (*CICHORIUM ENDIVIA L.*), ВЫРАЩЕННОГО В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕМ ОБОРОТЕ

Татьяна Александровна Лаврищева

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ta.lavrishcheva@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-0432-9295>

Реферат. Цель исследований заключалась в изучении влияния различных сроков посева на биометрические показатели и биохимический состав растений эндивия, выращенного в весенне-летнем обороте. Для анализа были выбраны 14 сортов эндивия: Доктор диабета, Crespa Fina siempre blanca, Green curled, Frisee d Olivet, Broad Betavian full hearted, Cornet d Anjou, Frisse grosse pommat seule, Scarola bionda, Миледи, Весенний, Нежный, Пала Росса, Ред Болл и Стрелы Амура. Эксперименты проводили в пленочных теплицах на территории учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Рассмотрено влияние продолжительности вегетации на высоту растений, диаметр розетки, количество листьев и их массу, площадь ассимиляционной поверхности; выявлена связь между продолжительностью выращивания и накоплением листьями растений эндивия сухого вещества, сахаров, аскорбиновой кислоты и пигментов. Показано, что выход зелёной массы листьев зависит от сроков посева и биологических особенностей различных сортов эндивия. Ранние весенние посевы эндивия приводят к преждевременному образованию цветоносного побега в условиях длинного светового дня в летний период, оттоку питательных веществ в генеративные органы и снижению массы листьев. Наиболее оптимальным сроком посева при возделывании эндивия в весенне-летнем обороте является середина апреля. Выявлено, что увеличение количества листьев к моменту уборки при длительной вегетации приводит к их обмельчанию. В связи с этим площадь ассимиляционной поверхности листьев больше коррелировала с их массой, чем с количеством. Коэффициенты корреляции, показывающие связь между площадью ассимиляционной поверхности и массой листьев, составили по годам, в которых проводились исследования: $r = 0,92$, $r = 0,85$ и $r = 0,88$. Анализ данных биохимического состава растений показал, что накопление растениями питательных веществ и хлорофилла в большей степени зависело от биологических особенностей сортов, чем от продолжительности вегетации.

Ключевые слова: эндивий, биометрические показатели, биохимический состав, пигменты

Цитирование. Лаврищева Т.А. Влияние сроков посева на биометрические показатели и биохимический состав растений эндивия (*Cichorium endivia L.*), выращенного в весенне-летнем обороте // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – Вып. 4(69). – С. 56–66. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-56-66

SOWING TIME INFLUENCE ON BIOMETRIC INDICATORS AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF ENDIVE PLANTS (*CICHORIUM ENDIVIA L.*), GROWN IN SPRING-SUMMER ROTATION

Tatiana A. Lavrishcheva

Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; ta.lavrishcheva@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0432-9295>

Abstract. The aim of the research was to study the effect of different sowing dates on the biometric indicators and biochemical composition of endive plants grown in the spring-summer rotation. Fourteen endive varieties were selected for the analysis: Diabetic Doctor, Crespa Fina siempre blanca, Green curled, Frisee d Olivet, Broad Betavian full hearted, Cornet d Anjou, Frisse grosse pommat seule, Scarola bionda, Milady, Spring, Gentle, Pala Rossa, Red Ball and Strely Amura. Experiments were carried out in film greenhouses on the territory of the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University. It is shown that the yield of the green mass of leaves depends on the timing of sowing and the biological characteristics of various endive varieties. Early spring sowing of endive leads to the premature formation of a flowering shoot in conditions of long daylight in summer, the outflow of nutrients to the generative organs and a decrease in leaf mass. The most optimal sowing period for endive cultivation in the spring-summer time is the middle of April. It was revealed that an increase in the number of leaves by the time of harvesting during a long vegetation period leads to their grinding. In this regard, the area of the assimilation surface of the leaves correlated more with their mass than with their number. The correlation coefficients calculated between the area of the assimilation surface and their mass were $r = 0.92$, $r = 0.85$ and $r = 0.88$ according to the years of research. Analysis of the data on the biochemical composition of plants showed that the accumulation of nutrients and chlorophyll by plants depended more on the biological characteristics of the varieties than on the duration of vegetation.

Keywords: *endive, biometric indicators, biochemical composition, pigments*

Citation. Lavrishcheva, T.A. (2022), "Sowing time influence on biometric indicators and biochemical composition of endive plants (*Cichorium endivia L.*), grown in spring-summer rotation", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 56–66. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-56-66. (In Russ.).

Введение. Цикорий (*Cichorium*) – очень популярная культура в странах Европы. Его целебные свойства известны с древности. В листьях салата содержится много кальция, фосфора, железа, калия, β -каротина, витамина С и витаминов группы В, биологически активных веществ, таких как инулин и интибин, а также фенольных соединений [1–4].

Род *Cichorium* включает 10–12 видов, которые можно подразделить на две группы.

К первой группе относятся растения с наземными запасующими органами. Представителем этой группы является салат цикорный эндивий (*Cichorium endivia L.*). Эндивий, начиная с появления всходов, формирует прикорневую розетку с большим количеством листьев, используемых в качестве овощной продукции.

Ко второй группе относятся растения, способные образовывать утолщенные корни. Представителем этой группы является салатный цикорий витлуф (*Cichorium intybus L. var. foliosum*). Двулетняя культура витлуфа с образованием розетки листьев формирует в течение вегетационного периода первого года запасующий орган – корнеплод.

Корневой цикорий широко используется в медицине. Листья и нестандартные корнеплоды могут перерабатываться для получения лекарств [5–8]. Выявлено, что цикориевая кислота, выделенная из витлуфа, ингибирует агрегацию и фибрилляцию hIAPP человека, что способствует лечению сахарного диабета [9].

Рост и развитие растений эндивия зависят от множества факторов: погодных условий произрастания [10], площади питания растений [11; 12], сортовых особенностей [13], использования при выращивании регуляторов роста и адаптогенов [14] и др.

Цель исследования – изучить влияние различных сроков посева на биометрические показатели и биохимический состав растений эндивия, выращенного в весенне-летнем обороте.

Задачи исследования заключались в следующем:

- установить влияние сроков посева и продолжительности вегетации на биометрические показатели эндивия: высоту растений, диаметр розетки, количество листьев и их массу, площадь ассимиляционной поверхности;
- выявить связь между продолжительностью выращивания и накоплением листьями растений эндивия сухого вещества, сахаров, аскорбиновой кислоты и пигментов.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования проводили в 2014, 2015 и 2016 гг. Растения эндивия выращивали в пленочных теплицах на территории учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (г. Пушкин). В 2014 г. были использованы 8 сортов эндивия: Доктор диабета, Crespa Fina siempre blanca, Green curled, Frisee d Olivet, Broad Betavian full hearted, Cornet d Anjou, Frisse grosse pommat seule, Scarola bionda. В 2015–2016 гг. к ним были добавлены ещё 6 сортов: Миледи, Весенний, Нежный, Пала Росса (произведённые селекционно-семеноводческой фирмой «Гавриш» (г. Москва) и обществом с ограниченной ответственностью «Агроника» (г. Санкт-Петербург)), Ред Болл и Стрелы Амура.

Сроки выращивания эндивия по годам исследований приведены в табл. 1.

В 2014 и в 2016 гг. посев семян эндивия проводили во второй половине апреля (16 и 19 числа), в 2015 г. в связи с ранним наступлением устойчивой тёплой погоды – 21 марта. Массовые всходы появились через 7 дней после посева. Рассаду высаживали в теплицу ежегодно 25 мая. Растения, выращенные в весенне-летнем обороте, во все годы исследований убирали 5 июля. Таким образом, продолжительность вегетации эндивия в весенне-летнем обороте в разные годы исследований существенно различалась и варьировалась от 71 до 100 дней.

Таблица 1. Сроки выращивания эндивия в весенне-летнем обороте
Table 1. Terms of endive cultivation in spring-summer time

Год	Весенне-летний оборот			Возраст рассады*, дней	Общая продолжительность вегетации, дней
	Посев	Высадка рассады	Уборка		
2014	16.04	25.05	05.07	33	74
2015	21.03	25.05	05.07	59	100
2016	19.04	25.05	05.07	30	71

*С момента появления массовых всходов.

При уборке определяли биометрические показатели (высоту растений, диаметр листовой розетки, количество листьев), массу растений и листьев.

В растениях устанавливали следующие показатели: сухое вещество – по ГОСТ 31640-2012, сумму сахаров – по методу Бертрона, аскорбиновую кислоту (витамин С) – по методу И.К. Мурри, содержание пигментов в растениях (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) – спектрофотометрическим методом при длине волны 662, 644 и 440 нм. Площадь ассимиляционной поверхности вычисляли методом высечек.

Статистическую обработку проводили по методу дисперсионного анализа однофакторного опыта [15] с использованием прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследования. Результаты изучения влияния различных сроков посева на биометрические показатели растений эндивия представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, в 2014 г. высота растений при уборке колебалась в пределах 35–51 см. Максимальная высота была выявлена у растений сорта Доктор диабета, минимальная – у растений сорта Broad Betavian full hearted. В 2015 г., при удлинении срока вегетации и расширении ассортимента сортов эндивия, высота растений в зависимости от сорта колебалась в пределах 16,3–76,3 см. Наибольшая высота наблюдалась у растений сортов Green curled (72,7 см), Frisse grosse pommat seule (75,6 см) и Миледи (76,3 см). Следует отметить, что увеличение высоты растений при удлинении срока вегетации было выявлено только у 6 из 8 ранее изученных сортов: Crespa Fina siempre blanca, Green curled, Frisee d Olivet, Broad Betavian full hearted, Frisse grosse pommat seule и Scarola bionda, и оно было связано исключительно с образованием цветоносного побега. У сортов Доктор диабета и Cornet d Anjou растения к моменту уборки не перешли к образованию цветоносного побега. Высота растений этих сортов в 2015 г. была ниже, чем в 2014 г.

Уменьшение срока вегетации в 2016 г. привело к тому, что ни одно растение, как и в 2014 г., к моменту уборки не образовало цветоносный побег. Высота розеток листьев эндивия в зависимости от сорта варьировала в пределах 24,0–52,6 см (табл. 2).

Таблица 2. Биометрия цикорного салата эндивия во время уборки в весенне-летнем обороте
Table 2. Biometrics of endive during harvesting in spring-summer time

Сорт	Высота растения, см			Диаметр розетки, см			Количество листьев, шт		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Доктор диабета	51,0	28,5	52,6	47,0	50,2	45,6	13,2	12,9	13,2
Crespa Fina siempre blanca	38,0	45,9	33,0	46,0	31,5	35,9	47,4	35,2	39,7
Green curled	44,0	72,7	27,1	34,0	43,7	46	40,8	65,9	42,4
Frisee d Olivet	42,0	55,5	31,4	32,0	45,2	45,8	33,2	49,1	27,9
Broad Betavian full hearted	35,0	61,0	34,6	25,0	40,8	46,8	21,0	44,6	30,5
Cornet d Anjou	47,0	34,1	33,3	47,0	40,0	45,4	20,6	20,0	19,5
Frisse grosse pommat seule	42,0	75,6	30,2	32,0	27,3	42,8	25,0	57,3	34,2
Scarola bionda	43,0	46,4	29,2	38,0	44,4	36,9	29,0	29,8	28,7
Миледи	н.д.	76,3	51,7	н.д.	39,4	44,3	н.д.	52,2	31,2
Весенний	н.д.	41,0	30,0	н.д.	27,8	41,5	н.д.	35,1	34,1
Нежный	н.д.	52,1	29,2	н.д.	27,4	35,1	н.д.	25,7	20,3
Пала Росса (Гавриш)	н.д.	34,1	32,5	н.д.	44,1	39,9	н.д.	13,8	11,1
Пала Росса (Агроника)	н.д.	16,3	24	н.д.	26,8	29,7	н.д.	11,4	9,5
Ред Болл	н.д.	18,3	29,1	н.д.	25,1	34,2	н.д.	13,5	15,6
Стрелы Амура	н.д.	31,9	48,5	н.д.	52,5	44,2	н.д.	13,5	34,5
НСР ₀₅	3,4	3,7	1,9	3,7	3,2	2,9	2,5	3,3	1,8

Максимальный диаметр розетки в 2014 г. выявлен у сортов Доктор диабета и Cornet d Anjou с показателем 47 см, а самую компактную розетку сформировали растения сорта Broad Betavian full hearted (25 см).

Наибольший диаметр розетки в 2015 г. был зафиксирован у сортов Доктор диабета и Стрелы Амура (50,2 и 52,5 см соответственно), а минимальные значения, которые колебались в пределах 25,1–27,8 см, у сортов: Frisse grosse pommat seule, Весенний, Нежный, Пала Росса (Агроника) и Ред Болл.

В 2016 г. диаметр розетки листьев в зависимости от сорта варьировал от 29,7 см (у сорта Пала Росса (Агроника)) до 46,8 см (у сорта Broad Betavian full hearted).

В целом следует подчеркнуть, что диаметр розетки листьев зависел от сортовых особенностей растений эндивия и продолжительности вегетации. У ряда сортов увеличение срока вегетации в 2015 г. привело к снижению диаметра розетки листьев. Это связано с тем, что питательные вещества переходили из розетки листьев в формирующийся цветоносный побег и нижние листья начинали засыхать.

В 2014 г. достоверно наибольшее количество листьев выявлено у сорта Crespa Fina siempre blanca (47,4 шт.), наименьшее – у сорта Доктор диабета (13,2 шт.).

Наибольшее количество листьев в 2015 г. образовали сорта Green curled (65,9 шт.), Frisse grosse pommatt seule (57,3 шт.) и Миледи (52,2 шт.). Значительно меньшее количество листьев (11,4–13,8 шт.) зафиксировано у сортов Доктор диабета, Пала Росса (Гавриш), Пала Росса (Агроника), Ред Болл и Стрелы Амура, которые не перешли к формированию цветоносного побега в условиях длинного дня в Ленинградской области.

В 2016 г. по количеству листьев выделился сорт Green curled (42,4 шт.), а достоверно наименьшее их количество по сравнению с другими сортами было выявлено у сортов Пала Росса (Гавриш) – 11,1 шт. и Пала Росса (Агроника) – 9,5 шт.

Таким образом, количество листьев также зависело от биологических и сортовых особенностей эндивия. В год с наибольшей продолжительностью вегетации (2015) самое значительное количество листьев было у сортов Green curled, Frisee d Olivet, Broad Betavian full hearted, Frisse grosse pommatt seule, Миледи, Нежный, Пала Росса (Гавриш), Пала Росса (Агроника). У сортов Crespa Fina siempre blanca, Ред Болл и Стрелы Амура, напротив, в год с более продолжительной вегетацией сформировалось наименьшее количество листьев. У сортов Доктор диабета, Cornet d Anjou и Весенний количество листьев по годам исследований изменялось незначительно.

В табл. 3 приведены данные о массе листьев и их ассимиляционной поверхности.

Таблица 3. Биометрические показатели и ассимиляционная поверхность цикорного салата эндивия, выращенного в весенне-летнем обороте во время уборки
Table 3. Biometric indicators and assimilation surface of endive grown in spring-summer time during harvesting

Сорт	Масса листьев, г			Ассимиляционная поверхность, м ²		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Доктор диабета	105,2	73,3	67,0	0,34	0,34	0,23
Crespa Fina siempre blanca	353,0	55,2	124	1,23	0,20	0,40
Green curled	314,6	18,6	161,3	0,77	0,06	0,51
Frisee d Olivet	278,8	61,5	177,1	0,95	0,21	0,53
Broad Betavian full hearted	151,0	56,8	164,9	0,38	0,23	0,48
Cornet d Anjou	237,6	52,1	173,4	0,57	0,17	0,49
Frisse grosse pommatt seule	205,0	24,2	130,8	0,48	0,10	0,33
Scarola bionda	294,0	103,6	263,8	0,85	0,26	0,76
Миледи	н.д.	35,8	151,9	н.д.	0,16	0,40
Весенний	н.д.	24,6	173,1	н.д.	0,10	0,50
Нежный	н.д.	44,0	143,5	н.д.	0,16	0,41
Пала Росса (Гавриш)	н.д.	82,2	148	н.д.	0,38	0,36
Пала Росса (Агроника)	н.д.	50,9	135,5	н.д.	0,20	0,24
Ред Болл	н.д.	56,9	146,8	н.д.	0,17	0,27
Стрелы Амура	н.д.	39,4	131,1	н.д.	0,15	0,42
НСР ₀₅	15,4	4,9	5,7	–	–	–

Данные свидетельствуют, что в 2014 г. максимальную ассимиляционную поверхность листьев (1,23 м²) при максимальной массе розетки листьев (353,0 г) сформировали растения сорта Crespa Fina siempre blanca, а минимальную поверхность – растения сорта Доктор диабета

(0,34 м² и 105,2 г соответственно по этим показателям). Это свидетельствует о прямом влиянии количества сформировавшихся на растении листьев на ассимиляционную поверхность.

В 2015 г. максимальной массой листьев на растении выделился сорт Scarola bionda (103,6 г), а наибольшую ассимиляционную поверхность сформировал сорт Пала Росса (Гавриш) – 0,38 м². Минимальные значения по этим двум показателям выявлены у сорта Green curled (18,6 г и 0,06 м²). В год с наибольшей продолжительностью вегетации масса листьев с одного растения была минимальной при наибольшем их количестве у растений, которые перешли к формированию цветоносного побега.

В 2016 г. максимальную массу листьев (263,8 г) и ассимиляционную поверхность (0,76 м²) сформировал сорт Scarola bionda, а минимальные показатели по этим параметрам были выявлены у сорта Доктор диабета (67,0 г и 0,23 м²).

Несмотря на большое количество листьев у растений в 2015 г. к моменту уборки, большая их часть обмельчала. В этой связи площадь ассимиляционной поверхности листьев больше коррелировала с их массой, чем с количеством. Так, коэффициенты корреляции, рассчитанные между площадью ассимиляционной поверхностью и их массой, составили по годам исследований: $r = 0,92$, $r = 0,85$ и $r = 0,88$; между площадью ассимиляционной поверхностью и количеством листьев: $r = 0,89$, $r = -0,54$ и $r = 0,49$.

В табл. 4 приведены данные биохимического состава растений эндивия. Оценивая способность различных сортов накапливать сухое вещество, следует заметить, что сорт Доктор диабета выделился по этому показателю с результатами 11,64; 10,96 и 8,78% в 2014, 2015 и 2016 гг. соответственно. Только в 2015 г. при увеличении продолжительности выращивания до 100 дней сорт Green curled накопил больше сухого вещества (11,45%). Наименьшее количество сухого вещества в 2014 г. было выявлено у сорта Cornet d Anjou (6,66%), в 2015 г. – у сорта Crespa Fina siempre blanca (5,85 %), в 2016 г. – у сорта Ред Болл (4,77%).

Таблица 4. Биохимический состав растений цикорного салата эндивия, выращенного в Ленинградской области в весенне-летнем обороте

Table 4. Biochemical composition of plants of endive cyscorn lettuce grown in the Leningrad region in spring and summer turnover

Сорт	Сухое вещество, %			Сумма сахаров, %			Аскорбиновая кислота, мг/100 г		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Доктор диабета	11,64	10,96	8,78	2,70	4,51	4,92	27,0	2,5	4,1
Crespa Fina siempre blanca	7,86	5,85	5,49	0,73	3,22	3,68	10,0	2,5	9,1
Green curled	10,17	11,45	5,31	2,03	3,52	3,68	10,0	4,5	6,6
Frisee d Olivet	9,13	8,76	5,74	1,09	3,05	2,70	12,0	3,4	5,1
Broad Betavian full hearted	8,40	9,58	6,01	1,54	3,36	3,96	8,0	4,5	1,6
Cornet d Anjou	6,66	8,59	6,09	0,45	3,56	3,09	13,0	4,5	7,1
Frisee grosse pommat seule	9,73	10,63	5,69	1,60	3,12	2,90	15,0	3,0	12,6
Scarola bionda	6,69	7,20	5,57	0,97	3,45	3,00	12,0	3,5	7,6
Миледи	н.д.	9,21	7,57	н.д.	3,82	3,09	н.д.	2,5	9,6
Весенний	н.д.	7,47	5,88	н.д.	3,84	2,81	н.д.	2,5	4,1
Нежный	н.д.	9,03	5,40	н.д.	4,87	3,29	н.д.	2,4	6,6
Пала Росса (Гавриш)	н.д.	8,15	7,39	н.д.	4,38	4,74	н.д.	3,5	11,6
Пала Росса (Агроника)	н.д.	7,57	5,29	н.д.	4,14	3,29	н.д.	1,4	0,1
Ред Болл	н.д.	6,64	4,77	н.д.	4,30	2,61	н.д.	1,5	1,6
Стрелы Амура	н.д.	9,45	7,54	н.д.	4,10	2,90	н.д.	1,2	7,6

Максимальная сумма сахаров в растениях в пересчёте на сухое вещество наблюдалась у сорта Доктор диабета в 2014 и 2016 гг. (2,70 и 4,92% соответственно), а в 2015 г. – у сорта Нежный (4,87%). Минимальное значение по этому показателю в 2014 г. было зафиксировано

у сорта Crespa Fina siempre blanca (0,73%), в 2015 г. – у сорта Frisee d Olivet (3,05%), в 2016 г. – у сорта Ред Болл (2,61%).

По содержанию аскорбиновой кислоты в 2014 г. с максимальным показателем выделился сорт Доктор диабета (27,0 мг/100 г), в 2015 г. – сорта Green curled, Broad Betavian full hearted и Cornet d Anjou с показателем 4,5 мг/100 г, а в 2016 г. – сорт Frisse grosse pommat seule, у которого было зафиксировано 12,6 мг/100 г. Следует отметить, что максимальное содержание аскорбиновой кислоты по всем изучаемым сортам наблюдалось в 2014 г., а минимальное – в 2015 г., кроме сортов Broad Betavian full hearted (4,5 мг/100 г) и Пала Росса (Агроника) (1,4 мг/100 г), которые выявили минимальное количество аскорбиновой кислоты в 2016 г. с показателями: 1,6 и 0,1 мг/100 г соответственно по сортам.

Данные о содержании пигментов в листьях цикорного салата эндивия и их соотношениях представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5. Содержание пигментов в листьях цикорного салата эндивия, выращенного в весенне-летнем обороте, мг/100 г

Table 5. The content of pigments in the leaves of endive grown in spring-summer time, mg/100g

Сорт	Хлорофилл <i>a</i>			Хлорофилл <i>b</i>			Каротиноиды		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Доктор диабета	48,8	21,7	42,5	64,2	37,0	29,1	13,6	5,4	14,0
Crespa Fina siempre blanca	42,2	41,9	29,0	44,1	70,4	20,4	11,0	9,7	9,5
Green curled	27,0	87,3	23,3	35,1	151,5	15,6	7,0	19,8	7,5
Frisee d Olivet	30,7	35,2	24,2	39,9	59,9	16,8	9,2	9,7	8,0
Broad Betavian full hearted	45,1	38,3	38,0	61,1	57,9	25,9	12,5	6,1	12,2
Cornet d Anjou	54,8	56,4	36,2	74,3	82,0	23,9	17,2	12,0	11,3
Frisee grosse pommat seule	35,5	48,0	26,3	47,6	68,9	17,7	9,3	11,8	8,5
Scarola bionda	31,5	20,3	29,4	42,7	32,5	19,0	7,8	4,1	9,6
Миледи	н.д.	104,0	48,2	н.д.	172,9	31,6	н.д.	25,9	15,7
Весенний	н.д.	30,4	29,4	н.д.	51,3	19,5	н.д.	6,5	9,3
Нежный	н.д.	70,8	25,4	н.д.	112,1	16,7	н.д.	12,1	7,5
Пала Росса (Гавриш)	н.д.	47,3	38,8	н.д.	76,2	26,2	н.д.	10,8	13,2
Пала Росса (Агроника)	н.д.	35,9	15,6	н.д.	59,6	10,5	н.д.	9,7	5,0
Ред Болл	н.д.	24,9	14,6	н.д.	44,0	10,4	н.д.	5,8	5,6
Стрелы Амура	н.д.	22,8	95,6	н.д.	39,0	63,8	н.д.	5,7	29,5

Просматривается чёткая закономерность в способности растений накапливать пигменты комплексно. Так, максимальное содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в 2014 г. наблюдалось у сорта Cornet d Anjou (54,8, 74,3 и 17,2 мг/100 г соответственно). В 2015 г. лидировали по количеству пигментов растения сорта Миледи (104, 172,9 и 25,9 мг/100 г), в 2016 г. – Стрелы Амура (95,6, 63,8 и 29,5 мг/100 г).

Минимальные показатели одного пигмента в комплексе также свидетельствовали о низких значениях остальных. Минимальные значения по годам зафиксированы у следующих сортов: 2014 г. – Green curled (27,0; 35,1 и 7 мг/100 г), 2015 г. – Scarola bionda (20,3; 32,5 и 4,1 мг/100 г), 2016 г. – Пала Росса (Агроника) (15,6; 10,5 и 5,0 мг/100 г) и Ред Болл (14,6, 10,4 и 5,6 мг/100 г).

Таблица 6. Соотношения и суммарные показатели пигментов в листьях цикорного салата эндивия, выращенного в весенне-летнем обороте
Table 6. Ratios and total indicators of pigments in the leaves of endive grown in spring-summer time

Сорт	Общий хлорофилл ($a+b$), мг/100г			Хлорофилл a / хлорофилл b			Общий хлорофилл / каротиноиды		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Доктор диабета	113,0	58,7	71,6	0,8	0,6	1,5	8,3	10,9	5,1
Crespa Fina siempre blanca	86,3	112,3	49,4	1,0	0,6	1,4	7,8	11,6	5,2
Green curled	62,1	238,8	38,9	0,8	0,6	1,5	8,9	12,1	5,2
Frisee d Olivet	70,6	95,1	41,0	0,8	0,6	1,4	7,7	9,8	5,1
Broad Betavian full hearted	106,2	96,2	63,9	0,7	0,7	1,5	8,5	15,8	5,2
Cornet d Anjou	129,1	138,4	60,1	0,7	0,7	1,5	7,5	11,5	5,3
Frisse grosse pommatt seule	83,1	116,9	44,0	0,7	0,7	1,5	8,9	9,9	5,2
Scarola bionda	74,2	52,8	48,4	0,7	0,6	1,5	9,5	12,9	5,0
Миледи	–	276,9	79,8	–	0,6	1,5	–	10,7	5,1
Весенний	–	81,7	48,9	–	0,6	1,5	–	12,6	5,3
Нежный	–	182,9	42,1	–	0,6	1,5	–	15,1	5,6
Пала Росса (Гавриш)	–	123,5	65,0	–	0,6	1,5	–	11,4	4,9
Пала Росса (Агроника)	–	95,5	26,1	–	0,6	1,5	–	9,8	5,2
Ред Болл	–	68,9	25,0	–	0,6	1,4	–	11,9	4,5
Стрелы Амура	–	61,8	159,4	–	0,6	1,5	–	10,8	5,4

Максимальное содержание общего хлорофилла в листьях растений эндивия в 2014 г. было зафиксировано у сорта Cornet d Anjou (129,1 мг/100 г), в 2015 г. – у сорта Миледи (276,9 мг/100 г), в 2016 г. – у сорта Стрелы Амура (159,4 мг/100 г). Минимальными значениями этого показателя выделились сорта Green curled (62,1 мг/100 г), Scarola bionda (52,8 мг/100 г), Ред Болл (25,0 мг/100 г) в 2014, 2015 и 2016 гг. соответственно (табл. 6).

Соотношение хлорофиллов (a/b) в 2014 г. изменялось по сортам от 0,7 до 1,0, в 2015 г. колебалось от 0,6 до 0,7, а в 2016 г. – от 1,4 до 1,5.

Следует отметить, что в 2014 и 2015 гг. хлорофилла a содержалось меньше, чем хлорофилла b , а в 2016 г. – наоборот.

Максимальное соотношение содержания общего хлорофилла к каротиноидам в 2014 г. зафиксировано у сорта Scarola bionda (9,5), в 2015 г. – у сорта Broad Betavian full hearted (15,5), в 2016 г. – у сорта Нежный (5,6). Минимальные значения этого показателя были зафиксированы в 2014 г. у сорта Cornet d Anjou (7,5), в 2015 г. – у сортов Frisee d Olivet и Пала Росса (Агроника) (9,8), в 2016 г. – у сорта Ред Болл (4,5). Более широкое соотношение общего хлорофилла к каротиноидам было выявлено в год с наибольшей продолжительностью вегетации.

Заключение. В результате проделанной работы установлено, что продолжительность вегетации оказывает непосредственное влияние на ряд биометрических показателей эндивия. Длительная вегетация приводит к увеличению количества листьев и снижению их массы в связи с оттоком питательных веществ в генеративные органы растений. В условиях длинного светового дня в летний период растения преждевременно образуют цветоносный побег. Выявленные различия в биохимическом составе растений в большей степени зависели от биологических особенностей сортов эндивия, чем от продолжительности вегетации.

Исследования показали, что для получения наибольшего урожая листьев в начале июля оптимальным сроком посева эндивия является середина апреля.

Список источников литературы

1. Каптел, А.П. О пищевой ценности и требованиях к качеству салатных овощных культур / А.П. Каптел, Е.А. Пыркова, Н. Наумова // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2019. – № 1 (23). – С. 7–13.
2. Physiological and Biochemical Characterization of a Red Escarole Obtained From an Interspecies Crossing / A. Natalini, G. Cocetta, A. Ferrante, N. Acciarri // *Agronomy*. – 2018. – Т. 8. – № 4. – P. 50.
3. Growing Endive Plants (*Cichorium endivia* L. var. *crispum*) Under Different Planting Dates and Spacing in Egypt (2016) / Maraey MAA, Abo El-Hamd ASA, Mohamed AA, Helaly AA // *Adv Plants Agric Res*. – Vol. 5(2): 00173. – DOI: 10.15406/apar.2016.05.00173 (accessed 31.10.2022).
4. Биохимическая характеристика и элементный состав цикория салатного (*Cichorium intybus* L.) Сорт Конус / Н.А. Голубкина., Ю.П. Шевченко, В.А. Харченко, О.В. Кошелева, А.В. Солдатенко // *Овощи России*. – 2019. – № 3 (47). – С. 80–86. – DOI: 10.18619/2072-9146-2019-3-80-86.
5. Anti-protozoal activity of extracts from chicory (*Cichorium intybus*) against *Cryptosporidium parvum* in cell culture. *Scientific Reports* 9, 20414 / I.D. Woolsey, A.H. Valente, A.R. Williams, et al. 2019. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56619-0> (accessed 31.10.2022).
6. Effect of *Cichorium intybus* seeds supplementation on the markers of glycemic control, oxidative stress, inflammation, and lipid profile in type 2 diabetes mellitus: A randomized, double-blind placebo study / K. Chandra, V. Jain, A. Jabin, S. Dwivedi, S. Joshi, S. Ahmad, S. K. Jain. – First published: 05 February 2020. – URL: <https://doi.org/10.1002/ptr.6624> (accessed 31.10.2022).
7. Mohafrash, S.M.M. Herbal syrup from chicory and artichoke leaves ameliorate liver damage induced by deltamethrin in weanling male rats / S.M.M. Mohafrash, A.T.H. Mossa // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 27(7). – P. 7672–7682. – DOI: 10.1007/s11356-019-07434-7
8. Aisa, H.A. Chemical constituents and their pharmacological activities of plants from *Cichorium* genus // *Chinese Herbal Medicines* / H.A. Aisa, X-L. Xin, D. Tang. – 2020. – vol. 12(3). – P. 224–236. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2020.05.001>
9. Cichoric Acid from Witloof Inhibit Misfolding Aggregation and Fibrillation of hIAPP / Luo Z., Gao G., Ma Z., Liu Q., Gao X., Tang X., Gao Z., Li C., Sun T. // *International Journal of Biological Macromolecules* (2019). – doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.100> (accessed 31.10.2022)
10. Lavrishcheva, T.A. Impact of climatic factor on growth and development of *cichorium endivia* in greenhouse in leningrad region, Russia / T.A. Lavrishcheva, A.V. Lavrishchev, A.V. Litvinovich // *Zemljiste i biljka*. – 2020. – Т. 69. – № 2. – С. 55–67. – DOI 10.5937/ZemBilj2002055L.
11. Лаврищева, Т.А. Влияние площади питания на биохимический состав цикорного салата эндивия при разных сроках посадки // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 57. – С. 22–27. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14022.
12. Лаврищева, Т.А. Влияние площади питания на продуктивность цикорного салата эндивия при разных сроках посадки // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 56. – С. 24–31. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-13024.
13. Осипова, Г.С. Агробиологическая оценка сортов салата цикорного в осеннем обороте пленочных теплиц Ленинградской области / Осипова Г.С., Лаврищева Т.А. // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2016. – № 45. – С. 25-29.
14. Лаврищева, Т.А. Влияние обработок препаратом Эпин-экстра на биометрические показатели и продуктивность растений эндивия / Лаврищева Т.А., Осипова Г.С. // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 4 (53). – С. 21–27.
15. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б.А. Доспехов. – М., 1985. – 351 с.

References

1. Kaptel, A.P., Pyrkova, E.A., Naumova, N. (2019), About the nutritional value and quality requirements of salad vegetable crops, *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2019, no. 1 (23), pp. 7–13. (In Russ.)
2. Natalini, A., Cocetta, G., Ferrante, A., Acciarri, N. (2018), Physiological and biochemical characterization of a red escarole obtained from an interspecies crossing, *Agronomy*, vol. 8, no. 4, p. 50.
3. Maraey, MAA, Abo, El-Hamd ASA, Mohamed, AA, Helaly, AA (2016), Growing Endive Plants (*Cichorium endivia* L. var. *crispum*) Under Different Planting Dates and Spacing in Egypt., *Adv Plants Agric Res*, vol. 5(2): 00173, DOI: 10.15406/apar.2016.05.00173 (accessed 31.10.2022).
4. Golubkina, N.A., Shevchenko, YU.P., Harchenko, V.A., Kosheleva, O.V., Soldatenko, A.V. (2019), Biochemical characteristics and elemental composition of lettuce chicory (*Cichorium intybus* L.) Conus variety, *Ovoshchi Rossii*, no. 3 (47), pp. 80–86, DOI: 10.18619/2072-9146-2019-3-80-86. (In Russ.)
5. Woolsey, I.D., Valente, A.H., Williams, A.R. et al. (2019), *Anti-protozoal activity of extracts from chicory (Cichorium intybus) against Cryptosporidium parvum in cell culture*, *Scientific Reports* 9, 20414, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56619-0> (accessed 31.10.2022).
6. Chandra K., Jain V. , Jabin A, Dwivedi S., Joshi S., Ahmad S., Swatantra K. Jain (2020), *Effect of Cichorium intybus seeds supplementation on the markers of glycemic control, oxidative stress, inflammation, and lipid profile in type 2 diabetes mellitus: A randomized, double-blind placebo study*, First published: 05 February 2020, <https://doi.org/10.1002/ptr.6624> (accessed 31.10.2022).
7. Mohafrash, S.M.M., Mossa, A.T.H.(2019), Herbal syrup from chicory and artichoke leaves ameliorate liver damage induced by deltamethrin in weanling male rats, *Environmental Science and Pollution Research*, no. 27(7), pp. 7672–7682, DOI: 10.1007/s11356-019-07434-7.
8. Aisa H.A., Xin X-L., Tang D. (2020), Chemical constituents and their pharmacological activities of plants from *Cichorium* genus, *Chinese Herbal Medicines*, no. 12(3), pp. 224–236. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2020.05.001>.
9. Luo, Z., Gao, G., Ma, Z., Liu, Q., Gao, X., Tang, X., Gao, Z., Li, C., Sun, T. (2019), Cichoric Acid from Witloof Inhibit Misfolding Aggregation and Fibrillation of hIAPP, *International Journal of Biological Macromolecules*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.100> (accessed 31.10.2022).
10. Lavrishcheva, T.A., Lavrishchev, A.V., Litvinovich, A.V. (2020), Impact of climatic factorson growth and development of cichorium endivia in greenhouse in leningrad region, Russia, *Zemljiste i biljka*, vol. 69, no. 2, pp. 55–67, DOI 10.5937/ZemBilj2002055L (In Russ.)
11. Lavrishcheva, T.A. (2019) The effect of the nutrition area on the biochemical composition of endive cycorn lettuce at different planting dates, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 57, pp. 22–27, DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14022. (In Russ.)
12. Lavrishcheva, T.A. (2019), The effect of the feeding area on the productivity of endive cycorn lettuce at different planting dates, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 56, pp. 24–31, DOI: 10.24411/2078-1318-2019-13024. (In Russ.)
13. Osipova, G.S., Lavrishcheva, T.A. (2016), Agrobiological assessment of varieties of cycorn lettuce in the autumn turnover of film greenhouses of the Leningrad region, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no 45, pp. 25–29. (In Russ.)
14. Lavrishcheva, T.A., Osipova G.S. (2018), The effect of Epin-extra treatments on biometric indicators and productivity of endive plants, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 4, vol. 53, pp. 21–27. (In Russ.)
15. Dosepkhov, B.A. (1985), *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniya)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)], M., 351 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Лаврищева Татьяна Александровна – заведующая почвенно-агрохимической лабораторией кафедры почвоведения и агрохимии имени Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 9088-2258

Information about the authors

Tatiana A. Lavrishcheva – Head of Soil and Agrochemistry Laboratory Of The Department of Soil Science and Agrochemistry named L.N. Aleksandrova, Saint-Petersburg State Agrarian University

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

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

Статья поступила в редакцию 17.10.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 17.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 631.12

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-66-75

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТОВ «FIBA ZORB» И «КЛЕОН АМ»
ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВОДОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВЕРХОВОГО
ТОРФА**

**Максим Викторович Киселёв¹, Иван Алексеевич Фрейдкин²,
Максим Алексеевич Ягло³**

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; kiselev@spbgau.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; fat3000@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-7492-4001>

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2,
Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; mount_walker@bk.ru;
<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Реферат. Верховой торф – один из самых распространенных материалов для приготовления субстратов и грунтов. Он обладает большим количеством положительных качеств – высокой пористостью, поглощательной способностью, антисептическими свойствами и низкой стоимостью. Однако при транспортировке он часто пересыхает и приобретает гидрофобные свойства, что значительно ухудшает его характеристики. Для

увеличения способности к водопоглощению верхового торфа применяют различные препараты, обладающие поверхностной активностью.

В данной работе была поставлена главная цель – провести сравнительный анализ отечественного и зарубежного препаратов, используемых при увеличении влагопоглощающей способности торфа.

В статье исследуется влияние препаратов «Fiba Zorb» и «Клеон АМ» в различных дозах на эффективность водопоглощения верхового торфа. Торф обрабатывали рабочими растворами препаратов с различной концентрацией. Вносили 10 мл рабочего раствора на 1 л торфа естественной плотности и выдерживали либо 30 минут, либо 60 минут. Исследование проводилось на основании ГОСТ 24160-2014. Метод исследования основывался на вакуумировании образцов торфа для удаления воздуха. Торф был погружен в воду и поглощал столько влаги, сколько позволяло поровое пространство и способность к абсорбции. В результате опыта сделан вывод, что наибольшей эффективностью обладает рабочий раствор на основе препарата «Fiba Zorb» с концентрацией 0,1% при времени экспозиции 60 минут. Также установлено, что искомый ГОСТ не может быть использован на практике для определения водопоглощающей способности торфа и требует модификации. Это связано с тем, что согласно ГОСТу следует заполнять цилиндр для образца полностью, до краев. Но в таком случае торф не может в полной мере реализовать свой потенциал водопоглощения, так как при разбухании испытывает сопротивление со стороны стенок цилиндра.

Ключевые слова: *верховой торф, субстрат, водопоглощение, улучшение характеристик*

Цитирование. Киселёв М.В., Фрейдкин И.А., Ягло М.А. Эффективность применения препаратов «Fiba Zorb» и «Клеон АМ» для увеличения водопоглощающей способности верхового торфа // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 66–75. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-66-75.

EFFECTIVENESS OF "FIBA ZORB" AND "KLEON AM" FOR INCREASING THE WATER-ABSORBING CAPACITY OF UPLAND PEAT

Maxim V. Kiselev¹, Ivan A. Freidkin², Maxim A. Iaglo³

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; kiselev@spbgau.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; fat3000@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7492-4001>,

³Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; mount_walker@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Abstract. High-moor peat is one of the most common materials for the preparation of substrates and soils. It has a large number of positive qualities - high porosity, absorption capacity, antiseptic properties and low cost. However, during transportation, it often dries up and acquires hydrophobic properties, which significantly worsens its characteristics. To increase the water absorption capacity of high-moor peat, various preparations with surface activity are used. In this work, the main goal was set – a comparative analysis of domestic and foreign preparations used to increase the moisture absorption capacity of peat. In this paper, we study the effect of preparations "Fiba Zorb" and "Cleon AM" in various doses on the efficiency of water absorption of high-moor peat. Peat was treated with working solutions of preparations with different concentrations. 10 ml of the working solution was added per 1 liter of natural density peat and kept for either 30 minutes or 60 minutes. The study was conducted on the basis of GOST 24160-2014. The research method was based on the evacuation of peat samples to remove air. The peat was immersed in water and absorbed

as much moisture as the pore space and absorption capacity allowed. It has been established that the working solution based on the Fiba Zorb preparation with a concentration of 0.1% has the highest efficiency with an exposure time of 60 minutes. It has also been established that the required GOST cannot be used in practice to determine the water absorption capacity of peat and requires modification. This is due to the fact that in GOST it is necessary to fill the cylinder for the sample completely, to the brim. In this case, peat cannot fully realize its water absorption potential, since during swelling it experiences resistance from the walls of the cylinder.

Keywords: *high-moor peat, substrate, water absorption, performance improvement*

Citation. Kiselev, M.V., Freidkin, I.A. Iaglo, M. A. (2022), "Effectiveness of "Fiba Zorb" and "Kleon Am" for increasing the water-absorbing capacity of upland peat", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 66–75. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-66-75

Введение. При использовании современных высокоэффективных методов агротехники в закрытом грунте (а для ягодных культур – и в открытом грунте [1]), таких как гидропоника, аквакультура и др., применяемых для выращивания рассады, овощных, зеленных и цветочных культур, велика потребность в различных субстратах. Данные субстраты должны обеспечивать растения достаточным количеством влаги и элементов питания, создавать оптимальные водно-воздушные условия для корневой системы и способствовать облегчению и механизации производственных процессов.

Применяемые в сельском хозяйстве субстраты могут быть как природного, так и искусственного происхождения. Они обладают пористой структурой, механической плотностью, значительной влагоемкостью и способностью к аэрации. Благодаря совокупности данных характеристик субстраты способствуют бурному росту выращиваемых культур. Это связано с тем, что растения затрачивают меньше энергии на развитие корневой системы и, следовательно, более эффективно формируют вегетативные и генеративные органы [2].

Одними из самых распространенных и доступных являются субстраты на основе торфа благодаря хорошим физико-химическим свойствам и низкой стоимости. Доля торфяной компоненты в этих грунтах может составлять от 30 до 100%.

Использование торфа и торфяных грунтов с заданными свойствами гарантирует возможность управления процессами культивирования. Однако обеспечить оптимальный водно-воздушный режим в зоне корнеобитания, а также необходимый уровень минерального питания с учетом требований культур возможно лишь при условии использования определенных типов торфа.

В ходе многочисленных исследований установлено, что наиболее пригодным для приготовления субстратов является верховой торф. Он должен обладать степенью разложения не более 20%, зольностью не более 5%, содержанием лигнина не более 5% [3; 4; 5]. Оптимальный ботанический состав такого торфа характеризуется наличием сфагновых мхов в количестве не менее 80%.

Сфагновый верховой торф обладает значительной буферностью, высокой сорбционной способностью, что позволяет применять повышенные дозы минеральных удобрений и за счет этого регулировать уровни питания в широких диапазонах без опасности создания вредной для растений концентрации солей [6; 7; 8]. Верховой торф обладает также антисептическими свойствами, потому что имеет высокое содержание фенольных соединений и сильно-кислую реакцию среды [9].

Верховой торф имеет устойчивую структуру, не поддающуюся действию микробиологического разложения длительное время. Субстрат на основе верхового торфа можно использовать в технологических процессах от трех и более раз без значительных изменений структуры [10].

При пересыхании верховой торф приобретает гидрофобные свойства, что значительно ухудшает его характеристики водопоглощения, влаго- и воздухоемкости [11]. Для того чтобы оптимизировать свойства грунтов на основе верхового торфа, избежать негативных последствий пересыхания, увеличить равномерность распределения влаги и увеличить интервал между поливами, применяют различные полимерные препараты, обладающие поверхностной активностью и способные значительно улучшить показатели водопоглощения, влагоемкости.

Верховой торф имеет высокую пористость (до 95%) и, следовательно, значительную влагоемкость. При использовании торфа в качестве субстрата оптимальным является содержание влаги в пределах 77,7–84,6% от массы. При этом воздухом занято 35–50% объема, что исключительно важно для нормального функционирования корневой системы [12].

Цель исследования. В данной работе исследовалось влияние препаратов «Fiba Zorb» и «Клеон АМ» в различных концентрациях на водопоглотительную способность грунта на основе верхового торфа.

Материалы, методы и объекты исследования. Изучаемый грунт представляет собой измельченный сфагновый торф, соответствующий по всем показателям ГОСТ Р 52067-2003 [11] (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики исследуемого торфа
Table 1. Characteristics of the studied peat

Наименование показателей		Величина показателя	
		по ГОСТу	факт
Тип торфа		Верховой или переходный	Верховой
Вид (группа)		Любой	Пушицево-сфагновый
Степень разложения	Von post	-	НЗ
	R, %	Не более 25	20
Кислотность	pH _{KCl}	2,5-6,0	3,20
	pH _{H2O}	-	4,72
Содержание органического вещества, %		-	98,03
Зольность, %		Не более 20	1,97
Массовая доля влаги, %		50-60	58,36
Плотность насыпная, кг/м ³	на фактическую влагу	-	330
	на сухое вещество	-	137
Пористость, %		-	91
Влагоемкость	на сухое вещество, %	-	569
	в % от объема	-	78
Воздухоемкость, %		-	13
Электропроводность, мСм/см		-	0,021
Содержание пушицы, %		-	Отсутствие
Засоренность (древесными включениями размером свыше 25 мм), %		Не более 8	Отсутствие

Используемый в исследовании торф – кислый, малозольный, без признаков саморазогревания, пушицево-сфагновый.

Препараты, применяемые в исследовании: «Клеон АМ» и «Fiba Zorb».

«Клеон АМ» – низкомолекулярный полиакрилат натрия, эффективный диспергатор (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика препарата «Клеон АМ»
Table 2. Characteristics of the preparation «Kleon AM»

№	Наименование показателя	Характеристика и норма
1	Внешний вид	Прозрачная или слегка мутная слабоокрашенная жидкость
2	Запах	Слабый, технический
3	Массовая доля основного в-ва, %, в пределах	38 – 42
4	Водородный показатель ед. рН, в пределах	5,5 – 8,0

«Fiba Zorb» – жидкий увлажняющий препарат производства Великобритании с запатентованной формулой. Обладает поверхностной активностью и применяется для улучшения водопоглощения торфяных субстратов (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика препарата «FIBA ZORB»
Table 3. Characteristics of the «FIBA ZORB» preparation

№	Наименование показателя	Характеристика и норма
1	Физическое состояние	Жидкое вещество
2	Цвет	Прозрачный белый
3	Запах	Характерный
4	Показатель рН	6,5 ± 1,5

В исследовании применялись следующие рабочие растворы:

- 1) 0,1% р-р «Клеон АМ»;
- 2) 0,3% р-р «Клеон АМ»;
- 3) 0,1% р-р «Fiba Zorb»;
- 4) контроль.

10 мл рабочего раствора равномерно вносили в объем 1 л торфа, тщательно перемешивали. Применялся торф, выдержанный в течение 30 минут после внесения рабочего раствора, и выдержанный в течение 60 минут.

Исследование проводилось на основании ГОСТ 24160-2014 [19] и модифицированного варианта этой методики. Метод заключался в принудительном удалении из торфа воздуха и замещении его водой путем трехкратного вакуумирования. Схема установки представлена на рис. 1.

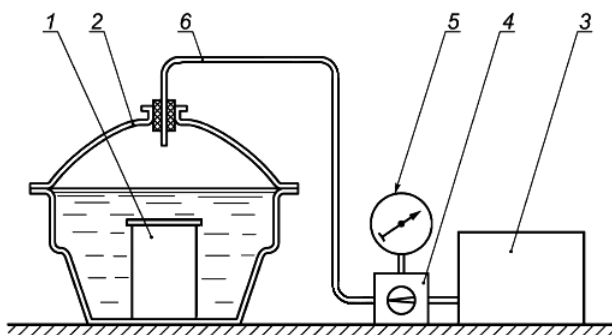


Рисунок 1. Схема установки для вакуумирования:

- 1 – цилиндр с образцом торфа; 2 – эксикатор; 3 – вакуумный насос; 4 – трехходовой кран;
5 – вакуумметр; 6 – соединительная трубка

Figure 1. Scheme of the installation for vacuuming:

- 1 – cylinder with peat sample; 2 – desiccator; 3 – vacuum pump; 4 - three-way valve;
5 - vacuum gauge; 6 - connecting tube

Предварительно смоченный цилиндр (высота 120 ± 1 мм, внутренний диаметр 120 ± 10 мм, изготовлен из нержавеющей стали с дном из одинарной сетки по ГОСТ 3826, с размерами ячеек 0,2–0,4 мм) наполнялся исследуемым образцом торфа до верха без уплотнения, взвешивался, закрывался крышкой и помещался в эксикатор, заполненный водой. Затем проводилось вакуумирование при разрежении до 95 кПа (0,95 кгс/см). При достижении требуемого вакуума насос отключали и сбрасывали разрежение. Повторяли три раза. Затем цилиндр извлекался, устанавливался вертикально и выдерживался со снятой крышкой 15 минут при комнатной температуре. После проводилось взвешивание и расчет водопоглощаемости в процентах.

Водопоглощаемость в процентах от массы торфа исходной влажности вычисляли по формуле:

$$B_{\text{п}} = \left(\frac{M_{\text{к}} - M_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} \right) \cdot 100$$

где $M_{\text{к}}$ – масса торфа после намокания, кг;

$M_{\text{н}}$ – масса сухого торфа до намокания, кг.

Результаты исследования. При проведении исследования в полном соответствии с ГОСТом (Опыт 1) результаты получились неудовлетворительные (табл. 6). Существенных различий между вариантами не выявлено.

Таблица 6. Результаты опыта № 1 (по ГОСТу)
Table 6. Results of experiment № 1 (according to GOST)

№	Вариант	Водопоглощаемость, %	
		0,5 часа	1 час
1	Контроль	82,5	83,9
2	Клеон АМ 0,1%	86,2	87,1
3	Клеон АМ 0,3%	90,2	87,2
4	FIBA ZORB	88,8	88,6
НСР ₀₅ = 4,6			

Цилиндр наполнялся торфом до верха. Однако при поглощении воды торф увеличивается в объеме, и ограниченное пространство цилиндра не позволяло реализовать весь потенциал водопоглощения.

В модифицированном варианте ГОСТа (Опыт 2) в цилиндр помещалась навеска 30 г торфа (что не более 20% от общего объема цилиндра). Цилиндр погружался в воду и выдерживался там в течение 60 минут. Затем цилиндр извлекался, устанавливался вертикально и выдерживался со снятой крышкой 15 минут при комнатной температуре. После этого проводилось взвешивание и расчет водопоглощаемости в %. Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты опыта № 2 (по ГОСТу в модификации)
Table 7. Results of experiment no. 2 (according to GOST in modification)

№	Вариант	Водопоглощаемость, %	
		0,5 часа	1 час
1	Контроль	350,4	359,0
2	Клеон АМ 0,1%	366,9	361,6
3	Клеон АМ 0,3%	356,2	388,7
4	FIBA ZORB 0,1%	400,7	427,0
НСР ₀₅ = 20,3			

Водопоглощаемость в контрольном варианте составила 350,4%. Наилучшие результаты получены в варианте с FIBA ZORB 0,1% – 400,7% (при экспозиции с реактивом в

30 мин.). При экспозиции в 60 мин. водопоглощаемость составила 427%. Хорошие результаты показал также вариант с применением Клеон АМ 0,3%—388,7% при экспозиции 60 мин. Было проведено исследование корреляции между результатами «Опыта № 1» и «Опыта № 2». Теснота взаимосвязи между опытами (соответственно детерминация и корреляция) были средними и очень низкими (рис. 2, 3), что подтверждает вывод о несостоятельности использования варианта с «Опытом № 1» на практике.

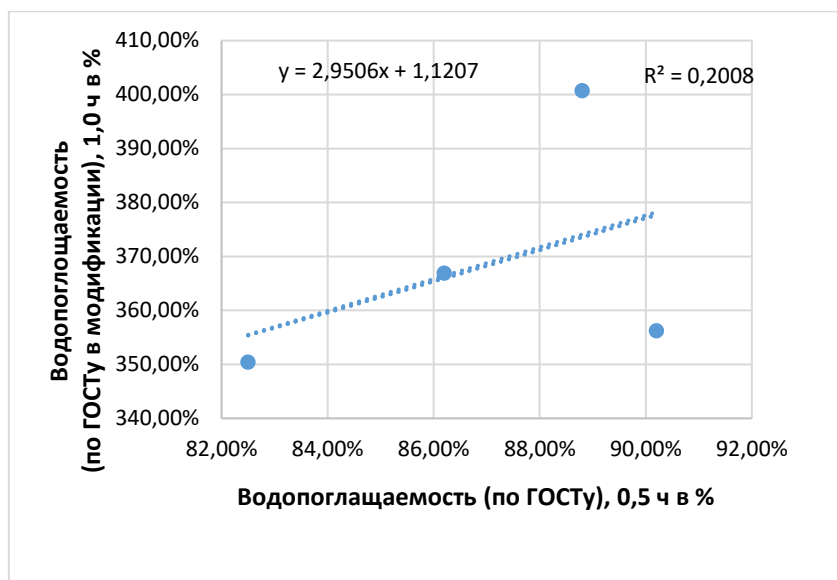


Рисунок 2. Теснота взаимосвязи между опытами № 1 и 2 (30 минут)
Figure 2. Correlation between experiments № 1 and № 2 (30 minutes)

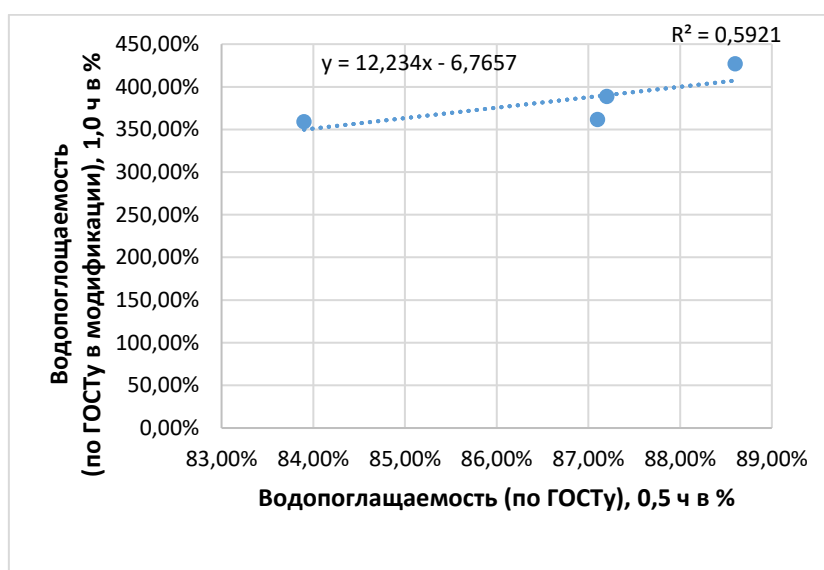


Рисунок 3. Теснота взаимосвязи между опытами № 1 и 2 (60 минут)
Figure 3. Correlation between experiments № 1 and № 2 (60 minutes)

Выводы. Применение препарата «FIBA ZORB» с концентрацией рабочего раствора 0,1% при расходе 10 л/т способно значительно увеличивать (более чем на 50%) водопоглощательную способность верхового торфа, используемого как основа для грунта.

Применение модифицированного варианта методики определения водопоглощательной способности «Опыт № 2» позволяет эффективнее реализовать потенциал водопоглощения, так как при использовании навески торфа, что занимает не более 10–20% от объема цилиндра для проб, исследуемый образец может впитать столько влаги, сколько возможно, и не испытывает препятствий со стороны других факторов.

Соответственно, в ГОСТ 24160-2014 и 7.3 необходимо редактировать текст «Цилиндр после взвешивания не ставят, а на весу заполняют торфом без уплотнения до верхнего края и взвешивают» следующим образом: «Цилиндр после взвешивания не ставят, а на весу заполняют торфом без уплотнения не более, чем на 10–20% от общего объема цилиндра, и взвешивают».

Список источников литературы

1. Development of agrotechnical methods for growing tall bluberrier in open field / S.V. Akimova, E.G. Samoshenkov, Yu.V. Voskoboinikov, M.P. Matskevich, P.P. Matskevich, A.E. Bulanov // *Journal of Physics: Conference Series*. 6. – Сер. "6th Interdisciplinary Scientific Forum with International Participation "New Materials and Advanced Technologies", NMAT 2020. – 2021. – С. 012070.
2. Солдатов, В.С. Динамика роста растений томата на смесях цеолитного субстрата и верхового торфа / В.С. Солдатов, А.П. Езубец // *Почвоведение и агрохимия*. – 2021. – № 1 (66). – С. 161–171.
3. Prospects for the use of modified peat for indoor humidity control / A.E. Tomson, T.V. Sokolova, N.E. Sosnovskaya, V.S. Pekhtereva, I.A. Goncharova, A.A. Arashkova, D.T. Kozhich // *Solid Fuel Chemistry*. – 2017. – Т. 51. – № 5. – С. 321–325.
4. Новые виды тепличных торфяных грунтов с растительными добавками и их использование в зимних теплицах / А.Э. Томасон, Н.А. Жманкова, Н.Ф. Рассоха, Н.Л. Макарова // *Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сб. ст.* – Краснодар. – 2018. – С. 126–129.
5. Prospects for the peat using as the basis of the soli-like substrate in nini-ecosystem modeling / N.N. Tereshchenko., T.I. Zyubanova, E.E. Akimova, O.M. Minaeva, T.M. Petrova, A.V. Kravets // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 928 (1), "4th International Conference Peatlands of Siberia: Functioning, Resources, Restoration, POS 2021". – 2021. – С. 012013.
6. Алпеева, Е.А. Торфяная промышленность Российской Федерации: проблемы и перспективы / Е.А. Алпеева, М.С. Гончаров // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 3. – С. 121–130.
7. Окислительно-восстановительный режим торфяной залежи верхних сфагновых болот Архангельской области / А.С. Орлов, И.Н. Зубов, С.Б. Селянина, С.А. Забелина // *Болота и биосфера: материалы Всероссийской с международным участием X школы молодых ученых*. – 2018. – С. 221–226.
8. Formation of the organic matter of high-moor peat under conditions of the European north of Russia / I.I. Lishtvan, T.V. Sokolova, N.E. Sosnovskaya, A.S. Orlov, S.B. Selyanina, M.V. Trufanova, O.N. Yarygina // *Solid Fuel Chemistry*. – 2018. – Т. 52.– № 4. – С. 211–216.
9. Левченко, Г.В. Вопросы механизации приготовления тепличных грунтов / Г.В. Левченко // *Евразийский союз ученых*. – 2015. – № 7-7 (16). – С. 18–19.
10. Динамика показателей влажности торфяного субстрата при внесении смачивателя "Fiba Zorb Plus" / Носников В.В., Юренин А.В., Селищева О.А., Граник А.М. // *Лесное хозяйство: материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) / отв. за издание И.В. Войтов*. – Минск, 2022. – С. 199–200.
11. ГОСТ Р 52067-2003 «Торф для производства питательных грунтов. Технические условия». – ИПК Издательство стандартов. – М., 2003. – С. 3–5.
12. ГОСТ 24160-2014 «Методы определения влагоемкости и водопоглощаемости». – ИД «Юриспруденция». – М., 2019. – С. 6–8.

References

1. Akimova, S.V., Samoshenkov, E.G., Voskoboinikov, Yu.V., Matskevich, M.P., Matskevich, P.P., Bulanov, A.E. (2021), "Development of agrotechnical methods for growing tall bluberrier in open field", *Journal of Physics: Conference Series*, 6, Сер. "6th Interdisciplinary Scientific Forum with International Participation "New Materials and Advanced Technologies", NMAT 2020, 2021, p. 012070.

2. Soldatov, V.S., Ezubets, A.P. (2021), "Growth dynamics of tomato plants on mixtures of zeolite substrate and high-moor peat", *Soil science and agrochemistry*, 2021, no. 1 (66), pp. 161–171. (In Russ.)
3. Tomson, A.E., Sokolova, T.V., Sosnovskaya, N.E., Pekhtereva, V.S., Goncharova, I.A., Arashkova, A.A., Kozhich, D.T. (2017), "Prospects for the use of modified peat for indoor humidity control", *Solid Fuel Chemistry*, vol. 51, no. 5, pp. 321–325.
4. Thomason, A.E., Zhmankova, N.A., Rassokha, N.F., Makarova, N.L. (2018), Novye vidy teplichnyh torfyanyh gruntov s rastitel'nymi dobavkami i ih ispol'zovanie v zimnih teplicah [New types of greenhouse peat soils with plant additives and their use in winter greenhouses], *Ekologicheskiye problemy razvitiya agrolandshaftov i sposoby povysheniya ikh produktivnosti, Sbornik statey* [Ecological problems in the development of agricultural landscapes and ways to increase their productivity, Digest of articles], Krasnadar, pp. 126–129. (In Russ.)
5. Tereshchenko, N.N., Zyubanova, T.I., Akimova, E.E., Minaeva, O.M., Petrova, T.M., Kravets, A.V. (2021), Prospects for the peat using as the basis of the soli-like substrate in mini-ecosystem modeling, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 928 (1), "4th International Conference Peatlands of Siberia: Functioning, Resources, Restoration, POS 2021"*, p. 012013.
6. Alpeeva, E.A., Goncharov, M.S. (2021), "Peat industry of the Russian Federation: problems and prospects", *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, no. 3, pp. 121–130. (In Russ.)
7. Orlov, A.S., Zubov, I.N., Selyanina, S.B., Zabelina, S.A. (2018), Okislitel'no-vosstanovitel'nyj rezhim torfyanoj zalezhi verhnih sfagnovyh bolot Arhangel'skoj oblasti [Redox regime of the peat deposits of the upper sphagnum bogs of the Arkhangelsk region], *Bolota i biosfera, materialy Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem X shkoly molodykh uchenykh* [Swamps and the biosphere, materials of the All-Russian with international participation of the X school of young scientists], pp. 221–226. (In Russ.)
8. Lishtvan, I.I., Sokolova, T.V., Sosnovskaya, N.E., Orlov, A.S., Selyanina, S.B., Trufanova, M.V., Yarygina, O.N. (2018), "Formation of the organic matter of high-moor peat under conditions of the European north of Russia", *Solid Fuel Chemistry*, vol. 52, no. 4, pp. 211–216.
9. Levchenko, G.V. (2015), "Questions of mechanization of preparation of greenhouse soils", *Eurasian Union of Scientists*, no. 7-7 (16), pp. 18–19. (In Russ.)
10. Nosnikov, V.V., Yurenya, A.V., Selishcheva, O.A., Granik, A.M. (2022), Dinamika pokazatelej vlazhnosti torfyanogo substrata pri vnesenii smachivatelya "Fiba Zorb Plus" [Dynamics of Moisture Indicators in Peat Substrate with the Wetting Agent "Fiba Zorb Plus"], in I.V. Voytov (otv. za izdaniye), *Lesnoye khozyaystvo. Materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry. Proceedings of the 86th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and graduate students (with international participation)], Minsk, pp. 199–200.
11. *GOST R 52067-2003 "Peat for the production of nutrient soils. Specifications"* (2003), IPF Publishing house of standards, Moscow, pp. 3–5. (In Russ.)
12. *GOST 24160-2014 "Methods for determining moisture capacity and water absorption"* (2019), Publishing house "Jurisprudence", Moscow, pp. 6–8. (In Russ.)

Сведения об авторах

Киселев Максим Владимирович – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель ИЛ «ЭКООС», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spn-код 6088-7951.

Фрейдкин Иван Алексеевич – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spn-код 7887-9368.

Ягло Максим Алексеевич – младший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Information about the authors

Kiselev Maxim V. – PHD of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code 6088-7951.

Freidkin Ivan A. – PHD of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code 7887-9368.

Maxim A. Iaglo – junior research assistant, 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 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 31.10.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 631.4

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-75-83

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНЫМИ ФРАКЦИЯМИ ДОЛОМИТОВОЙ КРОШКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ КИСЛОТНОСТИ ПО ПРОФИЛЮ

Манакова Юлия Сергеевна¹, Манаков Павел Сергеевич²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия;
golichena@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7851-0583>

²ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14, 195220, Россия;
manakov248@bk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0196-4077>

Реферат. Изучение процесса известкования кислых почв невозможно без исследования процессов, происходящих во внутрипочвенной толще. Такие исследования носят исключительно научный характер, но данные, полученные в ходе анализов, все чаще помогают смоделировать профильные преобразования, а также скорректировать мероприятия по известкованию почв в сторону их большей эффективности и дешевизны. В настоящее время ведутся работы по изучению возможности разработки и применения мелиорантов пролонгированного действия из крупных фракций отсева щебеночного производства, применяющегося для дорожного строительства.

Целью настоящей статьи является изучение трансформации гидролитической кислотности вниз по профилю в известкованной различными фракциями отсева доломита

дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, а также простейших математических закономерностей в ее варьировании.

В статье приведены материалы, полученные после 13 вегетационных периодов проведенных исследований, такой период позволяет судить не только об эффективности мелиорантов крупных фракций в устранении гидролитической кислотности, но и об изменениях, происходящих в почвенном профиле. Установлено, что использование крупных частиц доломита привело к значительным переменам гидролитической кислотности в почвенной толще. Эти изменения носили нелинейный характер. В дальнейшем, опираясь на полученные в ходе исследования данные, возможно моделирование дифференциации гидролитической кислотности профиля.

Полученные в статье результаты на данный момент имеют исключительно научный характер, однако при дальнейшем изучении действия крупных фракций отсева щебеночного производства на физико-химические характеристики почвы при известковании они открывают возможности для корректировки стратегии самого процесса известкования.

Ключевые слова: *отсев доломита, дерново-подзолистая почва, гидролитическая кислотность*

Цитирование: Манакова Ю.С., Манаков П.С. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разными фракциями доломитовой крошки на изменение гидролитической кислотности по профилю // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 4 (69). – С. 75–83. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-75-83

THE EFFECT OF LIMING OF SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL BY DIFFERENT FRACTIONS OF DOLOMITE CRUMBS ON THE CHANGE IN HYDROLYTIC ACIDITY ALONG THE PROFILE

Iulia S. Manakova¹, Pavel S. Manakov²

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; golichena@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7851-0583>

²Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Grazhdansky prospect, 14, 195220, Russia; manakov248@bk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0196-4077>

Abstract. The study of the liming process of acidic soils is impossible without studying the processes occurring in the subsurface thickness. Such studies are exclusively scientific in nature, but the data obtained during the study increasingly help to simulate profile changes, as well as to adjust measures for liming soils towards their greater efficiency and cheapness. Currently, work is underway to study the possibility of developing and applying long-acting ameliorants from large fractions of the screening of crushed stone production used for road construction. The purpose of this article is to study the changes in hydrolytic acidity down the profile in sod-podzolic light loamy soil calcified by various fractions of dolomite screening, as well as to identify the simplest mathematical patterns in its change. The article presents data obtained after 13 growing seasons of the conducted studies, such a period allows us to judge not only the effectiveness of ameliorants of large fractions in eliminating metabolic and potential acidity, but also about changes occurring in the soil profile. It was found that the use of large dolomite particles led to significant changes in hydrolytic acidity in the soil column. These changes were nonlinear in nature and are described by polynomials of the third degree. In the future, based on the data obtained during the study, it is possible to simulate changes in the hydrolytic acidity of the profile. The results obtained in the article are of an exclusively scientific nature; however, with further study of the effect of large fractions of the screening of crushed stone production on the physico-chemical characteristics of the soil during liming, they open up opportunities for adjusting the strategy of the liming process itself.

Keywords: *dolomite screening, sod-podzolic soil, hydrolytic acidity*

Citation. Manakova, Y.S., Manakov, P.S. (2022), "The effect of liming of sod-podzolic light loamy soil by different fractions of dolomite crumbs on the change in hydrolytic acidity along the profile", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 75–83. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-75-83

Введение. Кислотность почв – генетическое свойство, связанное с почвообразующими факторами и климатическими условиями. Без устранения избыточной кислотности нельзя создать продуктивные сельскохозяйственные угодья, а также эффективно использовать факторы интенсификации земледелия (Гедройц, 1932; Авдонин с соавт., 1976; Шильников с соавт., 2008).

В нашей стране более 50 млн га пахотных угодий представляют почвы с избыточной кислотностью. Эти почвы приурочены к таежно-лесной зоне, где подавляющее большинство почв – подзолистые и дерново-подзолистые. Примерно половина из них – сильно- и среднекислые почвы. В Ленинградской области сложилась следующая ситуация: на сегодня известкуемых площадей в области всего чуть более 2 тыс. га, потому что известкование традиционными мелиорантами (известняковой и доломитовой мукой) – дорогое мероприятие, и это отталкивает фермеров и крупных хозяйственников.

Более дешевая альтернатива, безусловно, есть [1].

В настоящее время на территории Ленинградской области скопилось более 70 млн т отсева доломитовой крошки. Использование доломитового отсева в качестве мелиоранта позволит решить две важные проблемы в регионе:

- 1) устранить избыточную кислотность сельскохозяйственных угодий в долгосрочной перспективе;
- 2) высвободить площади, которые занимают отвалы отсева.

В лаборатории химической мелиорации почв Агрофизического научно-исследовательского института с 2011 г. ведутся работы по использованию крупных фракций этого отсева в качестве мелиоранта пролонгированного действия для известкования кислых почв [2–4]. На сегодняшний день изучены мелиоративные свойства фракций отсева 0,25 мм, 0,25–1, 1–3 и 3–5 мм. Установлено их влияние на продуктивность различных сельскохозяйственных культур [5–6].

В работах [7–8] были опубликованы материалы по распределению обменных катионов кальция и магния по почвенному профилю дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы спустя 13 опыто-лет после известкования.

Цель исследования – изучить влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы фракциями доломитовой крошки размером 0,25 мм, 0,25–1 мм, 1–3 и 3–5 мм на изменение гидролитической кислотности по профилю после 13 вегетационных периодов.

Материалы, методы и объекты исследования. Для достижения поставленной цели в 2011 г. на Меньковской опытной станции (филиал Агрофизического института) был заложен микрополевой эксперимент в пластиковых емкостях без дна. Сосуды объемом 40 литров были закопаны в почву. В них затем набивали почву, произвесткованную фракциями отсева доломитовой крошки размерами 0,25 мм, 0,25–1, 1–3 и 3–5 мм в дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности. В качестве фона использовали азофоску по 16 % NPK. Схема опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Scheme of experience

№ п.п.	Вариант
1	Фон (NPK)
2	Фон + Известняковая мука 1 Нг
3	Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) – Доломитовая мука 1 Нг
4	Фон + Мелиорант (0,25-1 мм) 1 Нг
5	Фон + Мелиорант (1-3 мм) 1 Нг
6	Фон + Мелиорант (3-5 мм) 1 Нг
7	Фон + Мелиорант (<0,25 мм) 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) 2Нг
8	Фон + Мелиорант (<0,25 мм) 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) 3Нг
9	Фон + Мелиорант (<0,25 мм) 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) 6Нг
10	Фон + Мелиорант (3-5 мм) 5 Нг

Объектами исследования служили дерново-подзолистая легкосуглинистая почва и фракции отсева доломита. Доломитовую муку готовили из отсева, пропуская частицы доломита через сито с отверстиями 0,25 мм.

Физико-химическая характеристика почвы: рН_{KCl} 4,1, Нг – 5,6 ммоль (экв)/100 г, содержание гумуса – 1,76%, содержание частиц <0,01–21,2%.

Содержание СаСО₃ в доломитовой крошке – 46,1; MgСО₃ – 38,4 %.

В опыте последовательно выращивали: в 2011 г. – рапс, в 2012 г. – вику и горчицу, в 2013 и 2014 гг. – бобы и горчицу, в 2015 г. – ячмень с подсевом тимофеевки, в 2016 и 2017 гг. убрано по два укоса тимофеевки, в 2018 г. один укос. Уборку растений проводили в фазе цветения.

Возделываемые в опыте культуры хорошо отзываются на известкование и характеризуются высоким потреблением кальция и магния.

В 2018 г. после уборки последнего урожая тимофеевки, с каждой делянки почвенным буром со стаканом послойно с шагом 10 см отбирали образцы почвы до глубины 70 см. Далее проводилось определение гидrolитической кислотности по ГОСТ 26212-2021 [9].

Полученные данные обрабатывали с помощью Microsoft Excel. Результаты исследования рассмотрены далее.

Результаты исследования. Данные по профильному изменению гидrolитической показаны на рис. 1.

Гидrolитическая кислотность почв обусловлена кислыми функциональными группами органического вещества (Небольсин с соавт., 2010). Поэтому во всех вариантах опыта величина гидrolитической кислотности закономерно убывала с глубиной.

Во всех известкованных вариантах, в слоях 0–10 см и 10–20 см величина гидrolитической кислотности была значительно меньше, чем в варианте без известкования.

Наиболее высокие показатели гидrolитической кислотности отмечены в почве неизвесткованного контроля. В почве контроля показания Нг изменялись от 4,62 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 0–10 см до 2,63 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 20–30 см, далее до глубины 40–50 происходило снижение в диапазоне 1,50 – 1,90 ммоль(экв)/100 г почвы, а затем в нижних горизонтах возрастало до 2,23 ммоль(экв)/100 г почвы.

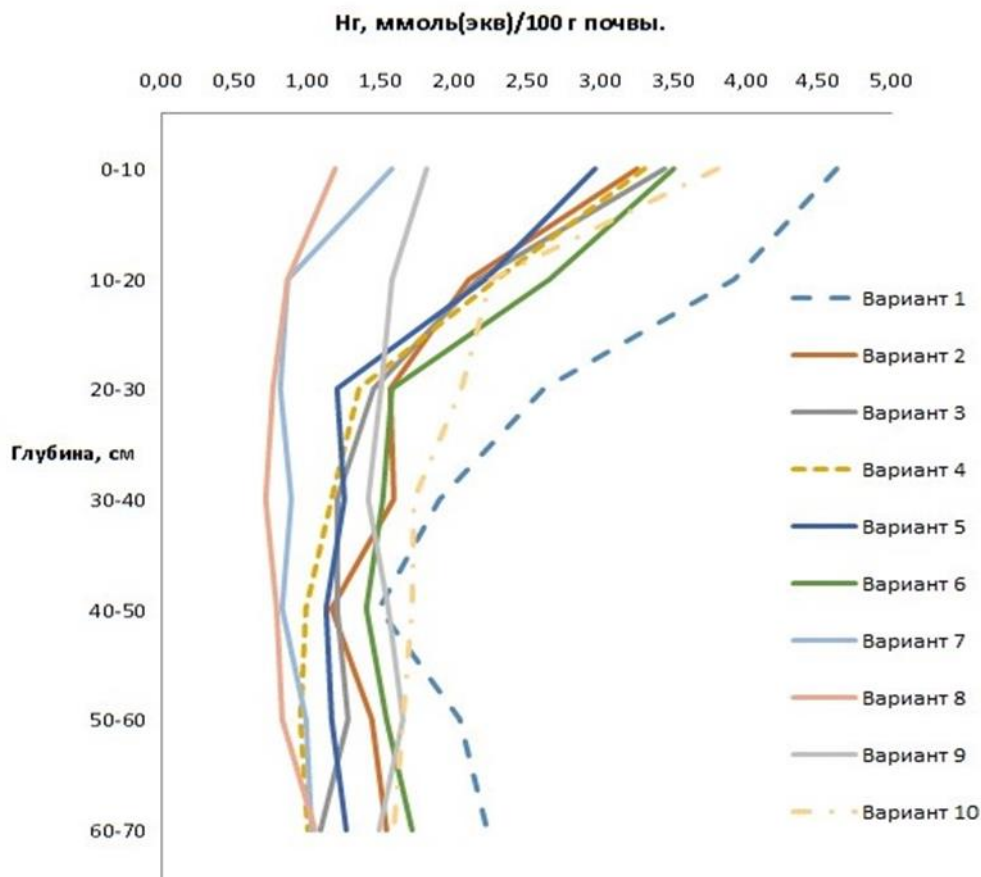


Рисунок 1. Профильное изменение гидролитической кислотности
Figure 1. Profile change of hydrolytic acidity

Варианты 2–6 известковались в полной дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности, эти варианты интересны с точки зрения сравнения: можно сравнить не только эффективность известняковой и доломитовой муки, но и различные фракции доломитовой крошки. В верхних слоях значения гидролитической кислотности находятся в диапазоне 3,51–2,98 ммоль(экв)/100 г почвы, далее происходит снижение до глубины 20–30 см, здесь коридор значений варьируется от 1,58 до 1,21 ммоль(экв)/100 г почвы. От глубины 30 см и до 70 см во всех вариантах наблюдается равномерное снижение, колебание значений было от 1,72–1,00 ммоль(экв)/100 г почвы. Таким образом, вариант 5 (Фон + Мелиорант (1–3 мм) по 1 Нг) был наиболее эффективен в устранении гидролитической кислотности.

Если рассматривать только корнеобитаемый слой 0–30 см, то варианты можно расположить по убыванию эффективности следующим образом: вариант 5 (Фон + Мелиорант (1–3 мм) по 1 Нг) > вариант 2 (Фон + Известняковая мука (ИМ) по 1 Нг) > вариант 4 (Фон + Мелиорант (0,25–1 мм) по 1 Нг) > вариант 3 (Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) – Доломитовая мука (ДМ) по 1 Нг) > вариант 6 (Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 1 Нг). Данная градация показывает, что частицы более 0,25 мм растворяются и работают успешно, однако их эффективность снижается при увеличении тонины помола с 3 до 5 мм.

В вариантах 7 (Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 2Нг) и 8 (Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25–1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 3Нг) отмечено следующее: наибольшие значения выявлены в верхнем горизонте 0–10 см – их колебания составили от 1,58–1,19 ммоль(экв)/100 г почвы, далее до глубины 50 см значения колебались в диапазоне 0,87–0,71 ммоль(экв)/100 г почвы, а после, с глубины 50–60 см незначительно возрастали до 1,03–1,05 ммоль(экв)/100 г. Как видно на графике, данные варианты значительно снижают значение гидролитической кислотности, даже спустя 13 опыто-лет. В работе П.С. Манакова с соавторами [7] выявлено,

что увеличение дозы применения мелиоранта до 3,4 и 6 Нг способствовало ещё большему обогащению профиля обменными соединениями Са, что подтверждает факт эффективности смесей фракций доломитовой крошки по уменьшению гидролитической кислотности.

Особый интерес представляет 9-й вариант (Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25–1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 6Нг). В данном варианте показатели гидролитической кислотности по профилю были равно распределены в диапазоне от 1,81 ммоль(экв)/100 г в верхнем горизонте до 1,49 ммоль(экв)/100 г почвы в горизонте 60–70 см. В варианте использовалась смесь различных фракций доломита. Идея заключалась в постепенном растворении сначала более мелких фракций, а затем с течением времени крупные фракции начинали бы свое действие. В работах Литвиновича с соавторами [10; 11] показан механизм растворения мелиоранта, а также скорость растворения, уменьшения частиц и изменение кислотности [12; 13]. Поэтому, исходя из графических данных видно, что спустя 13 вегетационных периодов смесь мелиорантов продолжает растворяться, тем самым изменяя значения гидролитической кислотности по профилю.

Изменения гидролитической кислотности в профиле 10-го варианта (Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 5 Нг) были аналогичны контрольному варианту опыта. Несмотря на пятикратную дозу внесения мелиоранта, в верхнем слое 0–10 см наблюдается значение 3,81 ммоль(экв)/100 г почвы, в слое 10–20 см снижение до 2,26 ммоль(экв)/100 г почвы и далее значения изменяются от 2,05 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 20–30 см до 1,60 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 60–70 см. Данный факт свидетельствует о том, что крупные фракции отсева размером 3–5 мм растворяются более медленно и тонина помола нивелирует более высокие дозы мелиорантов крупных фракций.

По данным изменения гидролитической кислотности по профилю были подсчитаны среднеквадратичные отклонения от среднего с использованием инструментов Microsoft Excel.

Данные со среднеквадратичными отклонениями приведены в табл. 2.

Таблица 2. Среднее квадратичное отклонение данных
Table 2. The mean square deviation value of the data

Глубина, см	Варианты опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Фон (NPK)	Фон + Изв. мука 1 Нг	Фон + М (< 0,25 мм) 1 Нг	Фон+М (0,25-1 мм) 1 Нг	Фон + М (1-3 мм) 1 Нг	Фон + М (3-5 мм) по 1 Нг	Фон + М (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + М (0,25-1 мм) по 0,5 Нг + М (1-3 мм) по 2 Нг	Фон + М (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + М (0,25-1 мм) по 0,5 Нг + М (1-3 мм) по 3 Нг	Фон + М (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + М (0,25-1 мм) по 0,5 Нг + М (1-3 мм) по 6 Нг	Фон М* (3-5 мм) по 5 Нг
Нг, ммоль(экв)/100 г почвы										
0-10	4,62±0,36	3,26±0,54	3,44±0,29	3,30±0,63	2,98±0,14	3,51±0,38	1,58±0,30	1,19±0,13	1,81±0,13	3,81±1,12
10-20	3,93±0,16	2,10±0,36	2,17±0,30	2,29±0,74	2,22±0,65	2,66±0,30	0,87±0,14	0,87±0,09	1,59±0,14	2,26±0,33
20-30	2,63±0,54	1,57±0,23	1,45±0,20	1,35±0,17	1,21±0,02	1,58±0,33	0,81±0,11	0,77±0,08	1,50±0,23	2,05±0,22
30-40	1,90±0,79	1,59±0,58	1,20±0,06	1,16±0,35	1,26±0,20	1,51±0,10	0,89±0,06	0,71±0,10	1,42±0,22	1,73±0,23
40-50	1,50±0,41	1,17±0,16	1,21±0,05	1,00±0,11	1,13±0,10	1,41±0,08	0,83±0,19	0,79±0,06	1,56±0,30	1,72±0,04
50-60	2,05±0,26	1,44±0,31	1,28±0,26	0,95±0,22	1,17±0,22	1,55±0,27	0,99±0,35	0,82±0,10	1,66±0,26	1,65±0,16
60-70	2,23±0,46	1,54±0,57	1,09±0,14	1,01±0,20	1,26±0,25	1,72±0,46	1,03±0,18	1,05±0,30	1,49±0,08	1,60±0,20

Как показано в табл. 2, величины среднего квадратичного отклонения в значительной степени сгруппированы вокруг математического ожидания. Это свидетельствует о правдоподобности изучаемых значений гидролитической кислотности (малое значение среднеквадратического отклонения). В средней и нижней части почвенного профиля величина

стандартного отклонения наиболее приближена к среднему значению самой гидролитической кислотности.

Выводы

1. Анализ проб, отобранных из ненарушенного профиля дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, спустя 13 вегетационных периодов после известкования показал, что в слоях 0–10 см и 10–20 см величина гидролитической кислотности была значительно меньше, чем в варианте без известкования.

2. Известкование почвы доломитом размером 0,25–1, 1–3 мм, 3–5 мм в дозе 1Нг привело к изменению значений гидролитической кислотности в верхних слоях в диапазоне 3,51–2,98 ммоль (экв)/100 г почвы, далее происходит снижение до глубины 20–30 см, здесь коридор значений от 1,58 до 1,21 ммоль (экв) / 100 г почвы. С 30 и до 70 см во всех вариантах наблюдается равномерное снижение значений от 1,72–1,00 ммоль (экв) /100 г почвы.

3. Применение смеси частиц мелиоранта в дозах, соответствующих 3, 4 и 6Нг, способствовало более значительному снижению гидролитической кислотности в исследуемой толще почвы, в верхнем горизонте 0–10 см колебание значений составило от 1,58–1,19 ммоль(экв) /100 г почвы. От 10 см до глубины 50 см значения колебались в диапазоне 0,87–0,71 ммоль(экв)/100 г почвы, с глубины 50–60 см немного возрастали до 1,03–1,05 ммоль(экв)/100 г.

4. Аналогичные контрольному варианту значения гидролитической кислотности получены в 10-м варианте опыта (Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 5 Нг). В верхнем слое 0–10 см наблюдались значения, близкие к контролю (3,81 ммоль (экв)/100 г почвы), ниже по профилю колебание показано от 2,05 ммоль(экв)/100 г в слое 20–30 см до 1,60 ммоль (экв) /100 г в слое 60–70 см. Этот факт указывает лишь на медленное растворение более крупных фракций отсева доломитовой крошки.

5. При расчете средних квадратичных отклонений оказалось, что все величины среднеквадратичного отклонения сгруппированы вокруг среднего арифметического гидролитической кислотности.

Список источников литературы

1. Отсев щебёночного производства как перспективный материал для мелиорации кислых почв / А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, Ю. В. Хомяков [и др.] // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 42–48.
2. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев, В.М. Буре, А.О. Ковлева // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 31–41.
3. Скорость растворения и удобрительная ценность отсева щебёночного производства / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев, А.О. Ковлева, Н.А. Снежков // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Международной научно-практической конференции и V съезда почвоведов и агрохимиков. – 2015. – С. 160–162.
4. Влияние различных по размеру фракций доломита на показатели почвенной кислотности легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (эмпирические модели процесса подкисления) / А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев, В.М. Буре, О.Ю. Павлова, А.О. Ковлева // Агрохимия. – 2017. – № 12. – С. 27–37.
5. Влияние крупных фракций отсева на почвенную кислотность и урожайность растений / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, Е.Е. Шевченко, А.В. Лаврищев, А.О. Тябин // Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы: материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки. – 2018. – С. 104–110.
6. Изучение динамики изменения содержания подвижного железа в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой доломитом / А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев, В.М. Буре, О.Ю. Павлова, А.О. Ковлева // Агрохимия. – 2019. – № 3. – С. 44–53.
7. Анализ и выявление закономерностей подвижности обменного кальция в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями

- отсева доломита / П.С. Манаков, А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев, В.М. Буре, Ю.Г. Захарян // *Агрофизика*. – 2022. – № 1. – С. 11–16.
8. Содержание и распределение обменного магния в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями отсева доломита / П. С. Манаков, А. В. Литвинович, А. В. Лаврищев, В. М. Буре // *Агрофизика*. – 2022. – № 2. – С. 39–44.
 9. ГОСТ 26212-2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 12 с.
 10. Процесс разложения крупных частиц доломита в сильноокислой дерново-подзолистой супесчаной почве. Динамика убыли массы доломита на разных стадиях растворения (по данным лабораторного опыта) / А.В. Литвинович, А.О. Берсенева, О.Ю., Павлова, А.В. Лаврищев, В.М. Буре // *Агрохимия*. – 2022. – № 3. – С. 52–60.
 11. Dynamics of weight loss of dolomite dropouts at different stages of dissolution in Albic Retisol / A. Litvinovich, O. Pavlova, A. Lavrishchev [et al.] // *Biological Communications*. — 2022. – Vol. 67. – № 1. – P. 3–11.
 12. Dynamics of Soil pH after Utilization of By-products of Industrial Rock Processing as a Calcareous Material in Acid Soils / A. Litvinovich, O. Pavlova, A. Lavrishchev [et al.] // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2021. – Vol. 52. – № 2. – P. 93–101.
 13. Reclamation properties and fertilizing value of dolomite screenings of various sizes at Albic Retisol in the North-West of Russia / A. Litvinovich, O. Pavlova, P. Manakov [et al.] // *Geoderma Regional*. – 2022. – Vol. 28. – P. 40–42.

References

1. Litvinovich, A. V., Pavlova, O. Yu., Khomiakov, Yu. V. [et al] (2020), “Screenings of crushed stone production as a perspective material for reclamation of acidic soils”, *Ovoshchevodstvo i teplichnoe khoziaistvo*, no 1, pp. 42–48. (In Russ.)
2. Litvinovich, A.V., Pavlova, O.Yu., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Kovleva, A.O. (2016), “Meliorative properties, fertilizing value and the rate of dissolution in soils of various size fractions of dolomite screening used for road construction”, *Agrochemistry*, no. 2. pp. 31–41. (In Russ.)
3. Litvinovich, A.V., Pavlova, O.Yu., Lavrishchev, A.V., Kovleva, A.O., Snezhkov, N.A. (2015), “Skorost' rastvoreniya i udobritel'naya cennost' otseva shchebyonochnogo proizvodstva” [The rate of dissolution and the fertilizing value of the screening of crushed stone production], *Reproduction of soil fertility and their protection in modern agriculture. Materials of the International Scientific and Practical Conference and the V Congress of Soil Scientists and Agrochemists*, pp. 160–162. (In Russ.)
4. Litvinovich, A.V., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Pavlova, O.Yu., Kovleva, A.O. (2017), “The influence of dolomite fractions of different sizes on the soil acidity of light-loamy sod-podzolic soil (empirical models of the acidification process)”, *Agrochemistry*, no. 12. pp. 27–37. (In Russ.)
5. Litvinovich, A.V., Pavlova, O.Yu., Shevchenko, E.E., Lavrishchev, A.V., Tyabin, A.O. (2018), “Vliyanie krupnykh fraktsiy otseva na pochvennyuyu kislotnost' i urozhajnost' rastenij” [The influence of large fractions of screening on soil acidity and plant yield], *Qualitative growth of the Russian agro-industrial complex: opportunities, problems and prospects, Materials of the business program of the XXVII International agro-industrial exhibition*, pp. 104–110. (In Russ.)
6. Litvinovich, A.V., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Pavlova, O.Yu., Kovleva, A.O. (2019), “Study of the dynamics of changes in the content of mobile iron in sod-podzolic light loamy soil reclaimed by dolomite”, *Agrochemistry*, no. 3. pp. 44–53. (In Russ.)
7. Manakov, P.S., Litvinovich, A.V., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Zakharyan, Yu.G. (2022), “Analysis and identification of the regularities of the mobility of exchangeable calcium in the profile of sod-podzolic light loamy soil reclaimed by different size fractions of dolomite dropout”, *Agrofizika*, no. 1. pp. 11–16. (In Russ.)
8. Manakov, P. S., Litvinovich, A. V., Lavrishchev, A. V., Bure V. M. (2022), “The content and distribution of exchangeable magnesium in the profile of sod-podzolic light loamy soil reclaimed by different-sized fractions of dolomite screening”, *Agrofizika*, no. 2, pp. 39–44. (In Russ.)
9. *GOST 26212-2021. Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoy kislotnosti po metodu Kappena v modifikatsii CINAO (2021)* [GOST 26212-2021. Soils. Determination of hydrolytic acidity by Kappen

- method modified by CINAO], Interstate council for standardization, Metrology and certification (ISC), Federal State Budgetary Institution "PCT", Moscow, Russian Federation. (In Russ.)
10. Litvinovich A.V., Berseneva, A.O., Pavlova, O.Yu., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M. (2022), "The process of decomposition of large dolomite particles in strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil. Dynamics of dolomite mass loss at different stages of dissolution (according to laboratory experience)", *Agrochemistry*, no. 3. pp. 52–60. (In Russ.)
 11. Litvinovich, A. V., Pavlova, O. Yu., Lavrishchev, A. V. [et al] (2022), "Dynamics of weight loss of dolomite dropouts at different stages of dissolution in Albic Retisol", *Biological Communications*, vol. 67, no. 1, pp. 3–11.
 12. Litvinovich, A. V., Pavlova, O. Yu., Lavrishchev, A. V. [et al] (2021), "Dynamics of Soil pH after Utilization of By-products of Industrial Rock Processing as a Calcareous Material in Acid Soils", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 52, no. 2, pp. 93–101.
 13. Litvinovich, A. V., Pavlova, O. Yu., Manakov P. S. [et al.] (2022), "Reclamation properties and fertilizing value of dolostone screenings of various sizes at Albic Retisol in the North-West of Russia", *Geoderma Regional*, vol. 28, pp. 40–42.

Сведения об авторах

Манакова Юлия Сергеевна – младший научный сотрудник испытательной лаборатории экологического контроля объектов окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Манаков Павел Сергеевич – инженер, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт», spin-код: 8460-1796. Researcher ID: GXH-3935-2022.

Information about the authors

Iulia S. Manakova – Junior Researcher, Environmental Testing Laboratory, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University".

Pavel S. Manakov – engineer, Agrophysical Research Institute.

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 14.12.2022

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 631.8.022.3

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-84-91

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТСЕВА
СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА В КАЧЕСТВЕ МЕЛИОРАНТА
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ****Иван Владимирович Салаев¹, Василий Павлович Царенко²**

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; Агрофизический научно-исследовательский институт, Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, 195220, Россия, ivansalaev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6385-4105>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; tsarenko.prof@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2495-1997>

Реферат. Отсев сыромолотого доломита – побочный продукт производства щебня – является ценным мелиорантом. Положительное влияние известкования отсевом на физико-химические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур доказана. Однако не установлена экономическая эффективность известкования дерново-подзолистой почвы отсевом сыромолотого доломита в условиях Северо-Запада РФ. Целью работы является определение экономической эффективности известкования почвы отсевом доломита. По данным шестилетнего микрополевого опыта был произведён расчёт экономической эффективности известкования кислой дерново-подзолистой почвы разными по размеру фракциями отсева сыромолотого доломита, внесённого в возрастающих дозах. Размер частиц, используемых при мелиорации, составлял 5–7 мм и 7–10 мм. Авторы производили также известкование почвы отсевом доломитовой крошки без разделения на фракции. При расчете доз внесения исходили из величины гидролитической кислотности почвы (Нг). Помимо научно обоснованной нормы – 1Нг, применяли трёх- и пятикратно превышенные дозы сыромолотого доломита – 3Нг и 5Нг. Приведённые в статье расчётные данные позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения отсева под кальциелюбивые культуры и отсутствии эффективности при внесении доломитовой муки в научно обоснованной дозе, связанной с дороговизной традиционного мелиоранта. В вариантах опыта, мелиорированных отсевом щебня размером 5–7 мм (1Нг), 7–10 мм (5Нг) и смесью фракций (3Нг), рентабельность превышала 100%, тогда как в варианте опыта, где вносили доломитовую муку, не удалось получить положительного значения рентабельности. Из двух фракций: 5–7 мм и 7–10 мм независимо от дозы внесения доломита более выгодным является применение сыромолотого доломита размером 7–10 мм. Рентабельность использования отсева доломита без разделения на фракции с увеличением дозы внесения с 1Нг до 3Нг увеличивалась соответственно с 60% до 122%. Установлено, что наиболее эффективно производить мелиорацию кислой дерново-подзолистой почвы сыромолотым доломитом размером 7–10 мм в дозе 3Нг. Рентабельность известкования в этом случае составляет 217%.

Ключевые слова: известкование, экономическая эффективность, сыромолотый доломит, повышенные дозы

Цитирование. Салаев И.В., Царенко В.П. Экономическая эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах

Северо-Запада РФ // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета – 2022. – № 4(69). – С. 84–91. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-84-91.

ECONOMIC EFFICIENCY OF USING RAW-GROUNDED DOLOMITE SCREENING AS AN IMPROVEMENT ON SODDY-PODZOLIC SOILS OF THE NORTH-WEST OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ivan V. Salaev¹, Vasily P. Tsarenko²

¹Sankt-Petersburg State Agricultural University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russia, ivansalaev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6385-4105>,

²Sankt-Petersburg State Agricultural University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russia, tsarenko.prof@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2495-1997>

Abstract. Crushed dolomite sift, a by-product of crushed stone production, is a valuable ameliorant. The positive effect of liming with silt on the physicochemical properties of soil and crop yields has been proven. However, the economic efficiency of liming sod-podzol soils with crushed dolomite in the conditions of the North-West of Russia has not been established. The aim of this work is to determine the economic efficiency of liming the soil with crushed dolomite. According to the data of the six-year microfield experiment the calculation of economic efficiency of acidic sod-podzolic soil liming by different in size fractions of granulated dolomite clippings applied in increasing doses was carried out. Size of particles used for reclamation was 5-7 mm and 7-10 mm. Liming of the soil was also carried out by screening out dolomite crumbs without separation into fractions. The calculation of application doses was carried out based on the value of the hydrolytic acidity of the soil. (Hr). In addition to the scientifically based – 1 Hr, three- and five-times exceeded doses of raw dolomite – 3 Hr and 5 Hr were used. The calculated data given in the article indicate the high efficiency of the application of raw dolomite for calcium-loving crops and the lack of effectiveness when applying dolomite flour in a scientifically justified dose associated with the high cost of traditional ameliorant. In the variants of the experiment of the application by crushed stone with a size of 5-7mm (1Hr), 7-10mm (5Hr) and a mixture of fractions (3Hr), the profitability exceeded 100%, whereas in the variant of the experiment where dolomite flour was introduced, it was not possible to obtain a positive profitability value. Of the two fractions of 5-7mm and 7-10mm, regardless of the dose of dolomite application, the use of raw dolomite with a size of 7-10mm is more advantageous. The profitability of using dolomite screening without separation into fractions with an increase in the dose of application - from 1 Hr to 3Hr – increased, respectively, from 60% to 122%. It has been found that it is most effective to reclaim acidic sod-podzolic soil with raw-ground dolomite of 7-10 mm in size in a three times higher scientifically justified dose of application. The profitability of liming in this case is 217%.

Keywords: *liming, economic efficiency, ground raw dolomite, increased doses*

Citation. Salaev, I.V., Tsarenko, V.P. (2022), "Economic efficiency of using raw-grounded dolomite screening as an improvement on soddy-podzolic soils of the North-West of the Russian Federation", *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 84–91. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-84-91.

Введение. Известкование является одним из базовых приёмов в земледелии и средством коренного улучшения кислых почв [1–6]. Эффективность известкования зависит от многих причин, главной из которых является исходная реакция почвенной среды,

определяющая дозу известковых удобрений. Наибольший эффект от внесения извести получают на сильно- и среднекислых почвах ($\text{pH} < 5,0$). При известковании почв с $\text{pH} > 5,6$ (близкая к нейтральной) эффект практически отсутствует. Уровень рентабельности при известковании сильнокислых почв составляет 70%, среднекислых – 43,4%, слабокислых – 13,6%. Окупаемость затрат соответственно 2,9; 3,5 и 4,4 года (Клебанович Н.В., Василюк Г.В. Известкование почв Беларуси. – Мн.: БГУ, 2003. – 322 с.).

О высокой экономической эффективности известкования свидетельствуют, например, результаты опытов станции ВИУА (1940 г.), когда затраты на известкования окупились за 1–2 года, а за две ротации севооборота чистый доход в 12–15 раз превысил затраты на мелиорацию (Клебанович Н.В., Василюк Г.В. Известкование почв Беларуси. – Мн.: БГУ, 2003. – 322 с.).

Программа известкования, осуществляемая в нашей стране с 1969 г., позволила за 20 лет создать положительный баланс кальция в земледелии и существенно уменьшить площади сильнокислых почв [7].

Начиная с 1990 г. темпы известкования почв стали резко падать. Объёмы применения удобрений и извести сократились в десятки раз (Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв. – СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. – 254 с.). Причины резкого сокращения известкования заключаются в следующем: утрата материально-технической базы для проведения данных работ, высокая стоимость традиционных известковых мелиорантов, прекращение федеральной финансовой поддержки, недостаточность финансовой поддержки из областных бюджетов [7]. В связи с этим актуальным является использование в качестве известковых мелиорантов более дешёвого сырья – отходов производств или побочной продукции.

При производстве щебня, используемого для дорожного строительства, в отвалы отсеиваются фракции доломита менее 10 мм. В Ленинградской области в отвалах такого отсева доломита скопилось несколько десятков миллионов тонн. Отсев сыромолотого доломита является ценным мелиорантом. Доказано его положительное влияние на физико-химические свойства почвы [8]. Однако не установлена экономическая эффективность использования данного отсева доломита.

Цель исследования – расчёт экономической эффективности известкования почвы крупными фракциями отсева сыромолотого доломита, вносимого в возрастающих дозах.

Методы и объекты исследования. Данные для расчёта экономической эффективности применения сыромолотого доломита получены из полевого эксперимента.

Микрополевым опытом заложен в 2015 г. на полях Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института. Эксперимент проводился 6 опыто-лет.

Схема микрополевого опыта составлена таким образом, чтобы можно было оценить известкование разными фракциями отсева доломита (5–7 мм, 7–10 мм) и естественной смесью фракций (ЕСМ). Известкование доломитом проводили в научно обоснованных дозах – 1 Нг и заведомо завышенных, соответствующих 3 и 5 дозам, рассчитанным по гидролитической кислотности. Повторность опыта – четырёхкратная.

В качестве вариантов сравнения в схему опыта включены вариант без известкования, а также вариант с доломитовой мукой, приготовленной из отсева, просеянного сквозь сито с диаметром ячеек 0,25 мм и внесённого в дозе 1 Нг. Расчёт дозы мелиоранта производился исходя из гидролитической кислотности почвы – 4,9 ммоль(экв) / 100 г почвы, а также нейтрализующей способности доломита – 84,5%.

$$4,9 * 1,5 * 100 / 84,5 = 8,7 \text{ т/га}$$

Схема опыта: 1. Контроль NPK(фон). 2. Фон + доломитовая мука (ДМ) 1 Нг. 3. Фон + отсев щебня 5–7 мм 1 Нг. 4. Фон + отсев щебня 5–7 мм 3 Нг. 5. Фон + отсев щебня 5–7 мм 5 Нг. 6. Фон + отсев щебня 7–10 мм 1 Нг. 7. Фон + отсев щебня 7–10 мм 3 Нг. 8. Фон + отсев

щебня 7–10 мм 5 Нг. 9. Фон + отсев щебня – естественная смесь фракций 1 Нг. 10. Фон + отсев щебня – естественная смесь фракций 3 Нг.

Для изучения мелиоративных свойств отсева доломита в полевом опыте на кислой дерново-подзолистой почве (pH_{KCl} 4,6) выращивали горох и горчицу, которые чередовали между собой. Выбранные культуры чувствительны к кислотности почвенного раствора, отзывчивы на известкование. В сельскохозяйственном отношении горох и горчица являются представителями важнейших биологических семейств – бобовые (Fabaceae), капустные (Brassicaceae). Перед каждым посевом гороха вносили азофоску (16:16:16) из расчёта $N_{50}P_{50}K_{50}$, перед посевом горчицы – $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Определение экономической эффективности применения мелиоранта проводилось по методике, основанной на сравнении урожайности однолетних трав на удобренной площади и контрольной (неудобренной) с последующим определением чистого дохода и рентабельности (Ягодин Б.А. Агрохимия. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с).

Урожайные данные, полученные в микрополевым эксперименте с делянок 1 м², пересчитывались на 1 га. Соответственно пересчитывалась и выручка от реализации готовой продукции с 1 га.

Стоимость одной тонны доломитовой муки в компании «Лентехстром» (месторождение в п. Кикерино) составляет 1100 руб. Отсев доломита обходится намного дешевле – 20 руб. за кубометр отсева [9]. При средней насыпной плотности 1,5 т/м³ это составляет 20 руб. за 1,5 т отсева доломита.

Помимо стоимости мелиоранта, в статью затрат при расчётах входили расходы, учитывающие: погрузку – ПЭ-Ф-1А, перевозку – Камаз, внесение доломита – МТЗ-82 + РМУ-10, а также расходы, связанные с продукцией, полученной от известкования почвы: на скашивание – МТЗ-82 + КСС-2,6, транспортировку – МТЗ-82 + ПТС-6,5 и трамбовку – МТЗ 1221. Затраты на известкование и расходы, связанные с полученной от известкования продукцией, сведены в табл. 1. Поскольку микрополевым эксперимент не предполагает такого рода затрат, то расчёт статьи затрат на известкование, проведённый на 1 га площади, сделан гипотетически. Стоимость ГСМ во всех расчётах брали равной 55 руб./л. Тарифная ставка механизатора – 1200 руб. за смену [10].

Результаты исследования. В расчёте стоимости погрузки учитывался расход ГСМ (5,5 л/маш.-час) и затраты труда одного механизатора с нормой выработки 100 т/ч.

Перевозка отсева доломита осуществляется на самосвале Камаз с грузоподъёмностью 30 т, поэтому для вариантов опыта, где доза внесения превышает 30 т, затраты на перевозку удвоены. Расчёт проводился исходя из расхода ГСМ – 30 л/100 км и затрат труда одного механизатора.

Расчёт стоимости внесения мелиоранта производился с учётом расхода ГСМ 17 л/га и использования труда одного механизатора с нормой выработки 30 га за смену.

Затраты на скашивание дополнительной продукции рассчитывались исходя из расхода МТЗ-82 + КСС-2,6 дизельного топлива 9 л/га и использования труда 1 механизатора с нормой выработки 18 га за смену.

Транспортировка продукции осуществлялась на расстояние до 5 км. Расход топлива МТЗ-82+ ПТС-6,5 составляет 6,8 л/маш.-час. Использовался труд одного механизатора с нормой выработки 38 т за смену.

Расчёт затрат на трамбовку проводился исходя из расхода ГСМ 0,5 л/т. Использовались услуги 1 механизатора с нормой выработки 110 т за смену [10].

Таблица 1. Затраты на известкование и расходы, связанные с полученной от известкования продукцией за 6 опыто-лет, руб.

Table 1. The costs of liming and the costs associated with the products obtained from liming for 6 years of experience, rub

Вариант опыта	Стоимость мелиоранта	Погрузка	Перевозка	Внесение доломита	Скашивание, транспортировка, трамбовка	Сумма затрат
1. Фон (NPK)	-	-	-	-	-	-
2. Фон + ДМ 1Нг	9570	41	666	975	1407,7	12659,7
3. Фон + М(5-7мм) 1Нг	116	41	666	975	1576,6	3374,6
4. Фон + М(5-7мм) 3Нг	348	123	666	975	1323,2	3435,2
5. Фон + М(5-7мм) 5Нг	580	205	1332	975	1083,8	4175,8
6. Фон + М(7-10мм) 1Нг	116	41	666	975	1140,2	2938,2
7. Фон + М(7-10мм) 3Нг	348	123	666	975	1724,5	3836,5
8. Фон + М(7-10мм) 5Нг	580	205	1332	975	1625,9	4717,9
9. Фон + смесь М 1Нг	116	41	666	975	1252,8	3050,8
10. Фон + смесь М 3Нг	348	123	666	975	1449,9	3561,9

Культуры, выращиваемые в микрополевым опыте (горох и горчица), могут использоваться как силосные для производства кормов. Стоимость 1 т силоса на 2022 г.в Ленинградской области брали равной 1550 руб. [11]. Коэффициент выхода корма от зелёной массы использовали 0,7.

Стоимость дополнительной продукции рассчитывалась как выручка от реализации корма.

В табл. 2 представлены основные показатели экономической эффективности известкования почвы отсевом доломита. Чистый доход определяется как разность между стоимостью дополнительной продукции и суммой всех затрат, связанных с известкованием.

Таблица 2. Экономическая эффективность известкования почв отсевом сыромолотого доломита
Table 2. Economic efficiency of liming soils by ground raw dolomite

Вариант опыта	Прибавка урожая, т/га	Сумма затрат, руб.	Стоимость дополнительной продукции, руб.	Чистый доход, руб.	Рентабельность, %
1. Фон (NPK)	-	-	-	-	-
2. Фон + ДМ 1Нг	6,7	12659,7	7269	-5390,7	-
3. Фон + М(5-7мм) 1Нг	9,1	3374,6	9873	6498,4	193
4. Фон + М(5-7мм) 3Нг	5,5	3435,2	5967	2531,8	74
5. Фон + М(5-7мм) 5Нг	2,1	4175,8	2278	-1897,8	-
6. Фон + М(7-10мм) 1Нг	2,9	2938,2	3146	207,8	7
7. Фон + М(7-10мм) 3Нг	11,2	3836,5	12152	8315,5	217
8. Фон + М(7-10мм) 5Нг	9,8	4717,9	10633	5915,1	125
9. Фон + смесь М 1Нг	4,5	3050,8	4882	1831,2	60
10. Фон + смесь М 3Нг	7,3	3561,9	7920	4358,1	122

Рентабельность известкования вычисляется как соотношение суммарного чистого дохода за весь период действия извести к затратам на известкование. Стоит учесть, что крупные фракции отсева доломита, используемого в микрополевым эксперименте, позиционируются как мелиорант пролонгированного действия со сроком действия, много превышающим действие доломитовой муки. Результаты модельного эксперимента показывают, что растворение доломита размером 7–10 мм может длиться от 18 до 98 лет [12]. В данном случае расчёт рентабельности производился по экспериментальным данным, полученным за 6 опыто-лет.

Результаты расчёта показывают, что за 6 опыто-лет в семи вариантах опыта с исследуемым доломитом прибыль от мелиорации превысила затраты, связанные с известкованием.

Нерентабельным оказалось известкование почвы доломитом размером 5–7 мм, внесённым в дозе 5Нг, а также доломитовой мукой в научно обоснованной дозе. Расходы на известкование в этих вариантах опыта превысили выручку от реализации продукции, полученной от мелиорации. В случае с отсевом доломита отсутствие эффективности связано с низкой урожайностью культур. В варианте опыта с доломитовой мукой причина другая – большие затраты на известкование, а именно высокая стоимость доломитовой муки. В исследованиях Клебановича и Василюка (2003) рентабельность применения доломитовой муки была существенно ниже, чем сыромолотого доломита на кислых дерново-подзолистых почвах Беларуси.

В вариантах опыта мелиорированных отсевом щебня размером 5–7 мм (1Нг), 7–10 мм (5Нг) и смесью фракций (3Нг) рентабельность превысила 100%. Самым выгодным оказалось известкование почвы отсевом доломита размером 7–10 мм в дозе 3 Нг. Рентабельность составила 217%. Это связано как с низкой стоимостью отсева доломита, так и с высокой урожайностью культур на делянках, известкованных данным отсевом. Дальнейшее увеличение дозы на данном этапе пока менее эффективно. Но есть вероятность, что эффективность доломита, внесённого в высоких дозах, со временем будет расти по сравнению с более низкими дозами внесения.

Если сравнить между собой эффективность внесения отсева доломита двух разных фракций, то выгоднее в экономическом отношении оказалось внесение более крупных частиц доломита (7–10 мм). Рентабельность использования отсева доломита без разделения на фракции с увеличением дозы внесения с 1Нг до 3Нг увеличивалась соответственно с 60 до 122%.

Заключение. При выращивании отзывчивых на известкование культур в условиях Северо-Западного региона России на кислых дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах наиболее эффективно в экономическом отношении проводить известкование почвы отсевом доломита размером 7–10 мм, внесённого в дозе, соответствующей 3Нг.

Нерентабельным оказалось известкование почвы доломитом размером 5–7 мм, внесённым в дозе 5Нг, а также доломитовой мукой в научно обоснованной дозе.

Список источников литературы

1. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы / Н.И. Аканова, И.А. Шильников, С.Ю. Ефремова, М.С. Аваков // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – № 1. – С. 28–35.
2. Динамика обменной кислотности в зависимости от уровня известкования и применяемых систем удобрений / В.А. Воробьёв, А.Н. Волосевич, Г.В. Гаврилова, М.Д. Трубняков, А.А. Вязовский // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3. – С. 2–8.
3. Реакция среды и химическая мелиорация почв / К.Е. Сокаев, В.В. Бестаев, Х.П. Кокоев, Р.М. Сокаева, З.А. Кубатиева // Известия горского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1. – С. 36–41.

4. Effects of Liming on Soil Physical Attributes: A Review / E. Jr. Conradi, A.C. Jr. Gonçalves, E.P. Seidel, G.L. Ziemer, J. Zimmermann, V.H. Dias de Oliveira, D. Schwantes, D. Z. Carlos // *Journal of Agricultural Science*. – 2020. – № 10. – С. 278–286.
5. Correction of Acidity of a Brazilian Cerrado Oxisol with Limestone and Wood Ash on the Initial Growth of Cowpea / M. B.-S. Edna, S. C. Alisson, V. J. Jefferson, A.P. Freire Ferraz, A. P. Damasceno, T.J. Araújo da Silva // *Agricultural Sciences*. – 2019. – № 10. – С. 841–851.
6. The effect of over 50 years of liming on soil aluminium forms in a Retisol / Z. Kryzevicius, D. Karcauskiene, E. Álvarez-Rodríguez, A. Zukauskaite, A. Slepeliene, J. Volungevicius // *The Journal of Agricultural Science*. – 2019. – № 1. – С.146–150.
7. Осипов, А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России / А.И. Осипов // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 3. – С. 28–36.
8. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев, В.М. Буре, А.О. Ковлева // *Агрохимия*. – 2016. – № 2. – С. 31–41.
9. Доломитовый щебень. – АО «Лентехстром». – URL: <https://ltsr.ru/nerud/scheben-dolomit> (дата обращения: 17 апреля 2022 г.).
10. Министерство сельского хозяйства и продовольствия республики Татарстан. – Информация для специалистов. – Рекомендации для экономиста. – Рекомендации расценок на оплату труда на заготовку кормов 2022 года. – URL: <https://agro.tatarstan.ru/rekomendatsii-dlya-ekonomista.htm> (дата обращения: 17 апреля 2022 г.).
11. Российский агропромышленный сервер. – Товары и услуги. – Корма для сельскохозяйственных животных и птиц. – Сено, солома, силос. – URL: <https://agroservers.ru/b/silos-senazh-mnogoletnikh-trav>. (дата обращения: 17 апреля 2022 г.).
12. Салаев, И.В. Скорость и характер растворения сыромолотого доломита / И.В. Салаев // *Агрофизика*. – 2021. – № 2. – С. 31–36.

References

1. Akanova, N.I., Shilnikov, I.A., Efremova, S.Yu., Avakov, M.S. (2017), The importance of chemical reclamation in agriculture and the loss of calcium and magnesium from the soil, *Problems of agrochemistry and ecology*, no. 1, pp. 28–35. (In Russ.)
2. Vorobyev, V.A., Volosevich, A.N., Gavrilova, G.V., Trubnyakov, M.D., Vyazovsky, A.A. (2019), Dynamics of exchange acidity depending on the level of liming and applied fertilizer systems, *Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy*, no. 3, pp.2–8. (In Russ.)
3. Sokaev, K.E., Bestaev, V.V., Kokoev, H.P., Sokaeva, R.M., Kubatieva, Z.A. (2017), The reaction of the medium and chemical soil reclamation, *Izvestiya gorskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 1, pp. 36–41. (In Russ.)
4. Conradi, E. Jr., Gonçalves, A.C. Jr, Seidel, E.P., Ziemer, G.L., Zimmermann, J., Dias de Oliveira, V.H., Schwantes, D, Carlos, D. Z. (2020), Effects of Liming on Soil Physical Attributes: A Review, *Journal of Agricultural Science*, no. 10, pp. 278–286.
5. Edna, M. B.-S., Alisson, S. C., Jefferson, V. J., Freire, Ferraz, A.P., Damasceno, A. P., Araújo da Silva, T.J. (2019), Correction of Acidity of a Brazilian Cerrado Oxisol with Limestone and Wood Ash on the Initial Growth of Cowpea, *Agricultural Sciences*, no. 10, pp. 841–851.
6. Kryzevicius, Z., Karcauskiene, D., Álvarez-Rodríguez, E., Zukauskaite, A., Slepeliene E. and Volungevicius, J. (2019), The effect of over 50 years of liming on soil aluminium forms in a Retisol, *The Journal of Agricultural Science*, no. 1, pp.146–150.
7. Osipov, A.I. (2019), “History and practical aspects of liming acidic soils in Russia”, *Agrohimicheskij vestnik*, no. 3, pp. 28–36. (In Russ.)
8. Litvinovich, A.V., Pavlova, O.YU., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M. and Kovleva, A.O. (2016), “Reclamation properties, fertilizing value and the rate of dissolution in soils of various size fractions of dolomite screening used for road construction”, *Agrohimiya*, no. 2, pp. 31–41. (In Russ.)
9. Dolomite crushed stone, JSC "Lentechstrom", available: <https://ltsr.ru/nerud/scheben-dolomit> (accessed April 17, 2022). (In Russ.)

10. Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan, Information for specialists, Recommendations for an economist, Recommendations of labor rates for forage harvesting in 2022, available: <https://agro.tatarstan.ru/rekomendatsii-dlya-ekonomista.htm> (accessed April 17, 2022). (In Russ.)
11. Russian agro-industrial server, Goods and services, Feed for agricultural animals and birds, Hay, straw, silage, available: <https://agroservers.ru/b/silos-senazh-mnogoletnikh-trav> (accessed April 17, 2022). (In Russ.)
12. Salaev, I.V. (2021), "The rate and nature of the dissolution of raw dolomite", *Agrofizika*, no. 2, pp. 31–36. (In Russ.)

Сведения об авторах

Салаев Иван Владимирович – младший научный сотрудник исследовательской лаборатории экологического контроля объектов окружающей среды, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Агрофизический научно-исследовательский институт, Scopus ID: 57207846956.

Царенко Василий Павлович – профессор кафедры почвоведения и агрохимии имени Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-code: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280

Information about authors

Salaev Ivan Vladimirovich – Junior Researcher at the Research Laboratory of Environmental Control of Environmental Objects, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", Agrophysical Research Institute, spin-code: 4058-3761, Scopus ID: 57207846956.

Tsarenko Vasily Pavlovich – Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry nm. L.N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280

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 26.09.2022; одобрена после рецензирования 07.12.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 26.09.2022; approved after reviewing 07.12.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 634.711.3

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-92-100

**ПОДБОР СОРТОВ РЕМОНТАНТНОЙ МАЛИНЫ
ДЛЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Галина Васильевна Щербакова¹, Татьяна Алексеевна Иванова²**

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; agrosad1@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д.2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ivanovs_family@bk.ru

Реферат. На сегодняшний день важной задачей сельскохозяйственной отрасли является обеспечение населения свежими и переработанными плодами. В Ленинградской области одна из перспективных культур для возделывания – малина ремонтантная. Ремонтантные сорта малины обладают свойством, существенно отличающим ее от малины обыкновенной – способностью к плодоношению как на однолетних, так и на двулетних побегах. Возделывание ремонтантной малины по однолетнему принципу решает многие проблемы, возникающие при выращивании малины обыкновенной. Несмотря на широкое распространение культуры малины ремонтантной в Российской Федерации, промышленное возделывание ее в условиях Ленинградской области не развито. Агроклиматические условия региона существенно влияют на осеннее плодоношение. Представляют интерес изучение и отбор наиболее продуктивных и адаптированных к условиям местности сортов малины ремонтантной, а также разработка агротехнических приемов ведения промышленных насаждений отобранных сортов. Цель исследования – изучить биологические особенности роста, развития и плодоношения сортов малины в условиях Ленинградской области. Объектами исследований являются три сорта малины ремонтантной селекции питомника Нижегородской области «Школьный сад»: «Малиновая гряда», «Карамелька», «Самохвал». Исследования проводились в 2020–2021 гг. в фермерском хозяйстве, расположенном в Гатчинском районе Ленинградской области. Оценивались сроки прохождения фенологических фаз развития различных сортов, побеговосстановительная способность, степень ремонтантности, а также биологическая и фактическая урожайность. Полученные данные и дальнейшее изучение сортов в условиях Ленинградской области позволят разработать агротехнические мероприятия для их эффективного внедрения в промышленное выращивание на данной территории.

Ключевые слова: ремонтантная малина, Ленинградская область, побег замещения, корневые отпрыски, латерал

Цитирование. Щербакова Г.В., Иванова Т.А. Подбор сортов ремонтантной малины для Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(60). – С. 92–100. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-92-100.

**SELECTION OF REMONTANT RASPBERRY VARIETIES
FOR THE LENINGRAD REGION****Galina V. Scherbakova¹, Tatyana A. Ivanova²**

¹ Sankt-Petersburg State Agricultural University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; agrosad1@mail.ru

² Sankt-Petersburg State Agricultural University, Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia; ivanovs_family@bk.ru

Abstract. Today, an important task of the agricultural industry is to provide the population with fresh and processed fruits. In the Leningrad region, one of the promising crops for cultivation is remontant raspberry. Remontant varieties of raspberries have a property that significantly distinguishes it from ordinary raspberries - the ability to bear fruit both on annual and biennial shoots. The cultivation of remontant raspberries on an annual basis solves many problems that arise in the cultivation of common raspberries. Despite the widespread culture of remontant raspberry in the Russian Federation, its industrial cultivation in the conditions of the Leningrad region is not developed. Agro-climatic conditions of the region significantly affect autumn fruiting. It is of interest to study and select the most productive and adapted to the local conditions, as well as the development of agro-technical methods of industrial planting of selected varieties. The aim of the research is to study biological features of growth, developing and fruiting of remontant raspberry varieties in the conditions of the Leningrad region. The objects of the research are three varieties of remontant raspberry selection of private nursery of Nizhny Novgorod region "Shkolni sad": "Malinovaya griada", "Caramelka", "Samohval". The research was conducted in 2020-2021 in the farming of Gatchina region of Leningrad district. The timing of the phenological phases of development of different varieties, their shoot-growing ability, remontaneity parameters, as well as their biological and potential yields were evaluated. The obtained data and further research of the varieties in the conditions of the Leningrad region will allow developing agronomic measures for their effective implementation in industrial cultivation in this area.

Keywords: *remontant raspberry, Leningrad region, replacement shoots, rootstocks, lateral*

Citation. Scherbakova, G. V., Ivanova, T.A. (2022), "Selection of remontant raspberry varieties for the Leningrad region", *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 92–100. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-92-100

Введение. В настоящее время обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации, в том числе наличие плодоовощной продукции, является одной из наиболее важных задач, стоящих перед учеными и специалистами садоводства.

Правительство Российской Федерации предпринимает решительные меры по восстановлению садоводства во всех регионах России, увеличивая государственные субсидии и финансируя реконструкции существующих и закладку новых плодово-ягодных насаждений.

Садоводство является единственной отраслью, которая обеспечивает население незаменимыми продуктами питания – орехами, фруктами и ягодами, а перерабатывающую промышленность – необходимым сырьем.

Минимальная общая потребность человека в плодах и ягодах по медицинским нормам составляет 100 кг в год. Однако фактическое среднегодовое потребление свежих фруктов в 2017 г. составило 59 кг, причем более половины этого количества – импортная плодово-ягодная продукция.

В решении проблем по импортозамещению и улучшению снабжения населения плодово-ягодной продукцией большая роль отводится ягодным культурам, в том числе малине. Культивируется данное садовое растение почти повсеместно.

Биохимический состав ягод малины и ее свойства позволяют находить ей широкое применение в перерабатывающей отрасли и в кондитерском производстве. Плоды малины и другие органы растения (листья, соцветия, корни) являются источником ценных веществ, необходимых для нашего здоровья – они содержат аскорбиновую кислоту, катехины, антоциан, витамины группы В, Е, и В, а также обладают антиоксидантными свойствами. В частности показано, что антиоксидантные свойства ягод малины обусловлены высоким содержанием таких веществ, как галловая, хлорогеновая кислота, катехин, ванилиновая, сиринговая, кумаровая, феруловая, розмариновая кислоты и кверцетин [1]. Ягоды

ремонтантных сортов и форм по биохимическим показателям не только не уступают неремонтантным формам малины, но зачастую и превосходят их [2].

Российская Федерация является лидирующим мировым государством по производству малины – 182 тыс. т по данным на 2020 г. [3]. Однако спрос на малину и продукты ее переработки очень велик и в настоящее время практически не удовлетворяется. Основными причинами, сдерживающими производство малины, являются следующие: значительная трудоемкость выращивания, зимние повреждения надземной части и непременное использование химикатов в борьбе с болезнями и вредителями. Стандартная технология возделывания малины включает такие агроприемы, как формирование и обрезки, установка шпалер и подвязки к ним стеблей, пригибание побегов на зиму. Кроме того, из-за смешанного состава надземной части (двухлетние плодоносящие стебли и однолетние побеги) снижается эффективность использования техники, в частности, уборочной.

Решить эти проблемы возможно за счет научно обоснованного внедрения интенсивных сортов ремонтантной малины. Малина ремонтантного типа, в сравнении с малиной обыкновенной, очень слабо повреждается болезнями и вредителями и не нуждаются в дополнительных химических обработках. Как следствие отсутствия обработок химикатами, опасными для здоровья, на малине ремонтантной созревает экологически чистый урожай [4]. Альтернативой общепринятой технологии, рассчитанной на двухлетний цикл формирования урожая малины, является новая технология с использованием ремонтантных сортов, плодоносящих на однолетних побегах. Суть новой технологии заключается в том, что после сбора созревшего на однолетних побегах урожая и наступления осенних заморозков всю надземную часть малины скашивают. Весной следующего года отрастают новые побеги. Таким образом ежегодно поддерживается однолетний цикл формирования урожая. Выращивание сортов малины ремонтантного типа в защищенном грунте также является перспективным. Применение высоких тоннелей при ее возделывании позволяет продлить сезон плодоношения, улучшить качество ягоды и увеличить урожайность плантаций [5].

Сорта ремонтантной малины нашли широкое распространение и промышленное возделывание в Российской Федерации. При этом данных об особенностях роста и индивидуального развития различных сортов ремонтантной малины для разработки оптимальной агротехники в условиях Северо-Западного региона явно недостаточно [6]. Как известно, агроклиматические условия зоны возделывания оказывают большое влияние на осеннее плодоношение. Тепло и влагообеспеченность периода вегетации, а также длительность светового дня влияют на признак ремонтантности.

На кафедре плодоовощеводства и декоративного садоводства СПбГАУ научные работы по изучению сортов ремонтантной малины проводили с 2009 г. Были изучены некоторые сорта селекции профессора И.В. Казакова. Весной 2019 г. были заложены коллекционные насаждения сортов малины селекции питомника Нижегородской области «Школьный сад».

Цель исследований – изучить биологические особенности роста, развития и плодоношения различных сортов малины ремонтантного типа в условиях Ленинградской области.

Задачи исследований:

- 1) изучить ежегодную побеговосстановительную способность различных сортов малины ремонтантной;
- 2) изучить потенциальную и биологическую урожайность различных сортов малины ремонтантной.

Материалы, методы и объекты исследований. В качестве исходного материала использовались 3 сорта ремонтантной малины: «Малиновая Гряда», «Карамелька», «Самохвал».

«Карамелька» – сорт селекции 2012 г., авторы – Казакова И.В., Евдокименко С.Н., Шиблева В.А., Шиблева И.В. Это ремонтантная малина среднераннего срока созревания, универсального назначения использования. Средняя масса ягод – 3,8 г, максимальная – до 8,0 г.

«Малиновая гряда» – сорт селекции 2015 г., авторство принадлежит Шиблевой В.А., Шиблевой И.В. Это ремонтантная малина средне-раннего срока созревания, универсального назначения использования. Ягоды средней массой 5,2 г, максимальной – до 8,2 г.

«Самохвал» – сорт селекции 2015 г., авторы – Шиблева В.А., Шиблева И.В. Это ремонтантная малина позднего срока созревания, универсального назначения использования. Ягоды средней массой 5,9 г, максимальной – до 9,1 г.

Все три сорта включены в Госреестр по Российской Федерации.

Исследования проводили в 2019–2021 гг. Размещение сортов рандомизированное. В качестве контроля использовали сорт «Карамелька» как наиболее распространенный в районах промышленного возделывания малины ремонтантного типа.

Коллекционные насаждения сортов «Карамелька», «Самохвал», «Малиновая Гряда» были сделаны весной 2019 г. по схеме 1,5 x 0,70 м с обособлением каждого куста (шотландская система ведения). Все корневые отпрыски удаляли. Кусты состояли только из однолетних побегов замещения. Участок земли под насаждения ремонтантной малины осваивали локально. Посадку проводили в подготовленные траншеи. Почва – от супесчаной до легкосуглинистой дерново-подзолистой. Рельеф ровный.

Учеты и наблюдения проводились согласно общепринятой методике Козловской З. А., изложенной в работе «Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда» (Минск, 2019) [7].

Результаты исследований. Ремонтантные сорта малины отличаются более продолжительным периодом плодоношения, чем сорта с летним сроком созревания урожая, у которых этот период составляет около 30 суток [8]. Изучаемые ремонтантные сорта отличались продолжительным плодоношением – от 34 до 70 дней (табл. 1). Наибольший срок плодоношения в условиях Ленинградской области отмечен у сортов «Самохвал» и «Малиновая Гряда».

Таблица 1. Фенологические фазы сортов ремонтантной малины, 2020-2021 гг.
Table 1. Phenological phases of development of primocane raspberry varieties, 2020-2021

Сорт	Начало роста прикорневых побегов	Начало основной волны цветения	Начало созревания ягод	Окончание плодоношения	Период плодоношения, дни
«Малиновая гряда»	Первая декада мая	Третья декада июля	Вторая декада августа	Вторая декада октября	70
«Самохвал»	Первая декада мая	Третья декада июля	Вторая декада августа	Вторая декада октября	70
«Карамелька»	Первая декада мая	Третья декада июля	Вторая декада сентября	Вторая декада октября	34

Технология возделывания ремонтантной малины радикально изменяет структуру куста, формирование которой происходит ежегодно за счет однолетних побегов замещения, с последующим их удалением. Побеговосстановительная способность зависит от биологических особенностей сорта и возраста растения и влияет на способ их размещения при закладке промышленных плантаций. Поэтому значительный интерес на начальном этапе

нашей работы представляет изучение побеговосстановительной способности различных сортов малины с момента посадки.

Структуру кустов различных сортов ремонтантной малины изучали в 2020–2021 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Побеговосстановительная способность сортов ремонтантной малины, 2020–2021 гг.

Table 2. Shoot-growing ability of primocane raspberry varieties, 2020–2021

Сорт	Год	Количество побегов, шт.	
		Побеги замещения, шт.	Корневые отпрыски, шт.
«Малиновая гряда»	2020	12	4
	2021	11	5
«Самохвал»	2020	10	5
	2021	15	3
«Карамелька» (контроль)	2020	11	6
	2021	10	5

Из таблицы видно, что при кустовом способе размещения тенденция образования количества побегов замещения в кусте у сорта «Малиновая гряда» и «Карамелька» в течение 2 лет сохранилась и составила 10–12 побегов на куст, кроме сорта «Самохвал». Количество побегов замещения у данного сорта в 2021 г. увеличилось на 5 штук. Количество корневых отпрысков ежегодно варьировало по вариантам опыта от 3 до 5 штук ежегодно.

Важным этапом нашей работы является определение степени ремонтантности изучаемых сортов (табл. 3). Ремонтантная малина, согласно модели «идеального» сорта И.В. Казакова, должна иметь зону осеннего плодоношения – не менее 65% от общей длины побега, а число латералов на побеге – не менее 20 штук.

Таблица 3. Степень ремонтантности малины изучаемых сортов, 2020–2021 гг.

Table 3. Remontaneity ratio of primocane raspberry varieties, 2020–2021

Сорт	Год	Длина побега замещения, см	Длина зоны осеннего плодоношения		Количество латералов на побег, шт.
			см	%	
«Малиновая гряда»	2020	162	57	35	11
	2021	164	50	30	10
«Самохвал»	2020	187	56	30	11
	2021	181	35	19	8
«Карамелька» (контроль)	2020	165	61	37	11
	2021	190	37	19	9

Показатели высоты побегов замещения изучаемых сортов в 2020–2021 гг. варьировали у контрольного сорта «Карамелька» и составили 165 см и 190 см соответственно. Тенденция роста побегов замещения у сортов «Малиновая гряда» и «Самохвал» сохранялась в годы исследований и соответственно составила 162–164 см и 181–187 см. Количество латералов на побегах замещения по сортам и по годам исследований изменялось незначительно и составило 8–11 шт. на побег для всех сортов, что значительно меньше рекомендуемого (20 латералов).

Длина зоны осеннего плодоношения у сорта «Малиновая гряда» варьировала от 57 до 50 см в годы исследований. Наименьшие показатели длины зоны осеннего плодоношения отмечены у сортов «Самохвал» и «Карамелька» в 2021 г., они составили 35–37 см.

Степень ремонтантности сорта «Малиновая гряда» сохранилась и составила 30–35% в годы исследований. У сортов «Самохвал» и «Карамелька» отмечается существенная разница в степени ремонтантности по годам: на 2020 г. она составила 30% и 37%, а в 2021 г. у обоих сортов – 19%. Таким образом, ни у одного из исследуемых сортов степень ремонтантности не соответствует модели «идеального сорта». При этом наиболее приближен к модели «идеального сорта» и стабилен оказался сорт «Малиновая гряда».

Продуктивность определяется генотипом сорта и условиями вегетации и перезимовки. Сорта с большой потенциальной продуктивностью чувствительнее к экологическим стрессам, им свойственна большая амплитуда вариабельности урожайности в неблагоприятных условиях среды [9]. Продуктивность куста малины зависит от следующих показателей: количество плодоносящих побегов, количество плодовых веточек на побеге, число созревших плодов на латерале, масса ягод [10]. Исследуя урожайность трех сортов малины ремонтантной, учитывали как потенциальную, так и фактическую урожайность. В связи с особенностью климатических условий Ленинградской области сортам ремонтантной малины не удается в полной мере реализовать свой потенциал [11]. Из-за резкого наступления похолоданий возникает существенная разница между потенциальной и фактической продуктивностью сортов ремонтантной малины. При расчете потенциальной продуктивности учитывается общее количество ягод и цветков на побеге, фактическая предусматривает только количество вызревших ягод на побеге (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность сортов ремонтантной малины, 2021 г.
Table 4. Yields of the of primocane raspberry varieties, 2021

Сорт	Биологическая урожайность		Потенциальная урожайность, т/га	Процент вызревших ягод, %
	т/га	Процент к контролю, %		
«Малиновая гряда»	4,6	200	8,6	54
«Самохвал»	5,13	223	5,7	90
«Карамелька»	2,3	100	4,6	52

Наши исследования показали, что на третий год после посадки контрольный сорт «Карамелька» имеет самую низкую урожайность – как фактическую, так и потенциальную. Потенциальная урожайность сорта «Карамелька» составила 4,6 т/га, процент вызревших ягод данного сорта в климатических условиях Ленинградской области – 52%.

Сорт «Малиновая гряда» имел высокую потенциальную урожайность – 8,6 т/га. Однако процент вызревших ягод составил 54%, что обусловило фактическую урожайность в 4,6 т/га.

Среди изучаемых сортов «Самохвал» показал наибольшую вызреваемость ягод – 90% при потенциальной урожайности 5,7 т/га. Таким образом, фактическая урожайность сорта малины «Самохвал» – максимальная среди изучаемых, она составила 5,2 т/га.

На урожайность малины ремонтантной непосредственное влияние оказывает показатель средней массы ягоды. Все изучаемые сорта можно отнести к крупноплодным. Средняя масса ягоды варьируется от 3,9 у сорта «Самохвал» до 4,1 г у сорта «Малиновая гряда». Средняя масса ягоды у контрольного сорта «Карамелька» составляет 4,0 г.

Выводы

1. По комплексу показателей, характеризующих степень осеннего плодоношения, продуктивность и качество ягод, наиболее стабильным по годам является сорт «Малиновая гряда».
2. Зона осеннего плодоношения изучаемых сортов составила 19–37%, что не соответствует модели «идеального сорта» ремонтантной малины.
3. В условиях Ленинградской области у изучаемых сортов процент вызревших ягод варьировал от 52 до 90%: «Карамелька» – 52% при биологической урожайности 4,6 т/га, «Малиновая гряда» – 54% при биологической урожайности 8,6 т/га и «Самохвал» – 90% при биологической урожайности 5,7 т/га.

Список источников литературы

1. Quantitative analysis of nine phenolic compounds and their antioxidant activities from thirty-seven varieties of raspberry grown in the Qinghai-Tibet Plateau region / Y. Wang, J. Liang, G. Luan, S. Zhang et al. // *Molecules*. 2019. – № 24(21):3932. – URL: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24213932> (accessed 30.10.2022).
2. Сазонова, И. Д. Ягодные культуры как сырье для технической переработки / И. Д. Сазонова // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 20. – С. 125–134. – EDN XZRGSL.
3. Knoema – The production of raspberries in the Russian Federation – personal account. – URL: <https://knoema.com/data/russian-federation+agriculture-indicators-production+raspberries> (accessed 30.10.2022).
4. Князева, С. М. Преимущество ремонтантной малины перед обыкновенной малиной и особенности ее возделывания / С. М. Князева, А. С. Сафронова // *Агробиофизика в органическом сельском хозяйстве : сборник материалов международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Гордеева Анатолия Михайловича, Смоленск, 27–28 марта 2019 года*. Т. 1. – Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 75–79. – EDN PQFYHF.
5. Klodd, A., Worth, L. Organic High Tunnel Raspberry Production. University of Minnesota Extension. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy. –2021. – URL: <https://hdl.handle.net/11299/220322> (accessed 30.10.2022).
6. Особенности развития сортов ремонтантной малины в природно-климатических условиях Республики Коми / Е. В. Павлова, В. А. Моторина, Е. В. Красильникова [и др.] // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. – 2021. – № 1(47). – С. 29–36. – DOI 10.19110/1994-5655-2021-1-29-36. – EDN CXYMMZ.
7. Козловская, З. А. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда / З. А. Козловская и др., под общ. ред. З. А. Козловской. – Минск : Белорус. наука, 2019. – 249 с. – ISBN 975-985-08-2508-7.
8. Евдокименко, С. Н. Создание сортов ремонтантной малины с коротким периодом плодоношения / С. Н. Евдокименко // *Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 кн., Барнаул, 15–16 февраля 2018 года*. Кн. 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2018. – С. 290–291. – EDN YUBRYL.
9. Оценка продуктивности сортов малины ремонтантного типа при интродукции в условиях Республики Коми / Е. В. Красильникова, Е. В. Павлова, А. С. Воловецкая [и др.] // *Актуальные*

- вопросы развития сельского хозяйства: Материалы: Круглого стола с международным участием; Научного совещания; Межрегиональной научно-практической конференции; V Межрегионального интеллектуального форума, Сыктывкар, с. Усть-Цильма, 13–15 июля 2021 года. – Сыктывкар: Коми республиканская академия государственной службы и управления, 2021. – С. 69–74. – DOI 10.19110/93206-022-12. – EDN XMVNVO.
10. Сусллова, К. С. Особенности формирования морфоструктурных компонентов продуктивности у ремонтантных сортов малины / К. С. Сусллова, Н. А. Колпаков // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Барнаул, 09–10 февраля 2022 года: в 2 кн. – Кн. 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2022. – С. 292–293. – EDN SCADOM.*
11. Щербакова, Г. В. Хозяйственно-биологическая оценка сортов малины в Ленинградской области / Г. В. Щербакова, Е. А. Пакулов, А. А. Шергина // *Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, Санкт-Петербург-Пушкин, 26–28 марта 2020 года. Ч. I. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2020. – С. 104–107. – EDN SFXDRY.*

References

1. Wang Y., Liang J., Luan G., Zhang S. et al. (2019), Quantitative analysis of nine phenolic compounds and their antioxidant activities from thirty-seven varieties of raspberry grown in the Qinghai-Tibet Plateau region, *Molecules*, no. 24(21): 3932, available <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24213932>
2. Sazonova, I. D. (2018), YAgodnye kul'tury kak syr'e dlya tekhnicheskoy pererabotki [Berry crops as raw materials for technical processing], *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo centra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya* [Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, winemaking], vol. 20, pp. 125–134, EDN XZRGSL. (In Russ.)
3. Knoema – The production of raspberries in the Russian Federation – personal account, available <https://knoema.com/data/russian-federation+agriculture-indicators-production+raspberries>, accessed 30.10.2022.
4. Knyazeva, S. M., Safronova, A. S. (2019), Preimushchestvo remontantnoj maliny pered obyknovennykh malinoy i osobennosti ee vozdeleyvaniya [The advantage of repair raspberries over ordinary raspberries and the peculiarities of its cultivation], *Agrobiotfizika v organicheskom sel'skom hozyajstve : sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 80-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skohozyajstvennykh nauk, professora, zaslužennogo deyatelya nauki RF Gordeeva Anatoliya Mihajlovicha, Smolensk, 27–28 marta 2019 goda*, vol. 1, Smolensk, Smolenskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, pp. 75–79, EDN PQFYHF. (In Russ.)
5. Klodd, A., Worth, L. (2021), Organic High Tunnel Raspberry Production, University of Minnesota Extension, Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, available <https://hdl.handle.net/11299/220322>.
6. Pavlova, E.V., Motorina, V.A., Krasil'nikova, E.V. et al. (2021), Features of the development of varieties of repair raspberries in the natural and climatic conditions of the Komi Republic, *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN*, no. 1(47), pp. 29–36, DOI 10.19110/1994-5655-2021-1-29-36, EDN CXYMMZ. (In Russ.)
7. Kozlovskaya, Z. A. (2019), *Geneticheskie osnovy i metodika selekcii plodovykh kul'tur i vinograda* [Genetic bases and methods of selection of fruit crops and grapes], Z. A. Kozlovskaya (ed.), Minsk, Belarus. nauka, 249 p., ISBN 975-985-08-2508-7. (In Russ.)
8. Evdokimenko, S. N. (2018), Sozdanie sortov remontantnoj maliny s korotkim periodom plodonosheniya [Creation of varieties of repair raspberries with a short fruiting period], *Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu : sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 2 kn., Barnaul, 15–16 fevralya 2018 goda*, vol. 1, Barnaul, Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, pp. 290–291, EDN YUBRYL. (In Russ.)
9. Krasil'nikova, E. V., Pavlova, E. V., Voloveckaya, A. S. et al. (2021), Ocenka produktivnosti sortov maliny remontantnogo tipa pri introdukcii v usloviyah Respubliki Komi [Evaluation of the productivity of raspberry varieties of the repair type during introduction in the conditions of the Komi

- Republic], *Aktual'nye voprosy razvitiya sel'skogo hozyajstva : Materialy: Kruglogo stola s mezhdunarodnym uchastiem; Nauchnogo soveshchaniya; Mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii; V Mezhhregional'nogo intellektual'nogo foruma, Syktyvkar – s. Ust'-Cil'ma, 13–15 iyulya 2021 goda*, Syktyvkar, Komi respublikanskaya akademiya gosudarstvennoj sluzhby i upravleniya, pp. 69–74, DOI 10.19110/93206-022-12, EDN XMVNVO. (In Russ.)
10. Suslova, K. S., Kolpakov, N. A. (2022), Osobennosti formirovaniya morfostrukturnykh komponentov produktivnosti u remontantnykh sortov maliny [Features of the formation of morphostructural components of productivity in remontant raspberry varieties], *Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu : Sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 2-h knigah, Barnaul, 09–10 fevralya 2022 goda*, vol. 1, Barnaul, Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, pp. 292–293, EDN SCADOM. (In Russ.)
11. Shcherbakova, G. V., Pakulov, E. A., Shergina, A. A. (2020), Hozyaistvenno-biologicheskaya ocenka sortov maliny v Leningradskoj oblasti [Economic and biological evaluation of raspberry varieties in the Leningrad region], *Rol' molodyh uchenykh i issledovatelej v reshenii aktual'nykh zadach APK : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenykh i obuchayushchihsya, Sankt-Peterburg-Pushkin, 26–28 marta 2020 goda*, vol. I, Sankt-Peterburg-Pushkin, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, pp. 104–107, EDN SFXDRY. (In Russ.)

Сведения об авторах

Щербакова Галина Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 0000-1234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

Иванова Татьяна Алексеевна – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 0000-3234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

Information about the authors

Galina. V. Scherbakova – 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: 0000-1234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

Tatiana A. Ivanova – postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 0000-3234, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 631.41

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-101-113

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
УЧЕБНО-ОПЫТНОГО САДА СПбГАУ****Анастасия Ильинична Клятышева¹, Антон Викторович Лаврищев²**

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; aklyatisheva@mail.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-6242-8323>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; av.lavrishchev@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-3086-2608>

Реферат. Целью работы является оценка возможности использования геоинформационной системы при проведении почвенного обследования учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. В результате почвенно-агрохимического обследования было установлено, что исследуемые почвы относятся к средне- и высокогумусным, содержание гумуса в гумусово-элювиальных горизонтах колебалось в пределах от 2,13 до 4,15%. По уровню кислотности исследуемые почвы варьируют от сильнокислых (pH_{KCl} 4,11) до нейтральных (pH_{KCl} 6,49). Величина гидролитической кислотности изменяется в широких пределах от 1,75 до 5,77 ммоль(экв)/100 г. Сумма поглощённых оснований Ca^{2+} и Mg^{2+} в почвах изучаемой территории варьирует от 11,2 до 21,8 ммоль(экв)/100 г. Сумма обменных оснований сильно коррелирует с ёмкостью катионного обмена ($r = 0,94$), которая изменяется в пределах 14,37–25,72 ммоль(экв)/100 г. Содержание подвижных соединений фосфора в почвах значительно варьирует по территории учебно-опытного сада – от повышенного до очень высокого и составляет от 112,5 до 1008,95 мг/кг. Содержание подвижных соединений калия колеблется в пределах 74,6–558,5 мг/кг (от низкого до очень высокого). С помощью программы QGIS была создана база данных отдельных полей (кварталов) сада. Атрибутивная информация базы по полю включает тип почвы, гумусированность, pH_{KCl} , гидролитическую кислотность, содержание обменных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , обеспеченность подвижными соединениями фосфора и калия. Дан сравнительный анализ создания карты рельефа двумя способами: через оцифровку SRTM-снимков, полученных с сайта географической службы США, и с помощью визуализации рельефа, полученного с сервиса Google Earth Pro. Построены агрохимические картограммы по каждому изученному показателю.

Ключевые слова: геоинформационные системы, цифровизация, QGIS, физико-химическая характеристика почв, картограммы

Цитирование. Клятышева А.И., Лаврищев А.В. Использование геоинформационных систем при изучении почвенного покрова учебно-опытного сада СПбГАУ // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 101–113. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-101-113

THE USE OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE STUDY OF THE SOIL COVER
OF THE EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL GARDEN OF SPbSAUAnastasia I. Kliatysheva¹, Anton V. Lavrishchev²

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; aklyatisheva@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6242-8323>

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; av.lavrishchev@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3086-2608>

Abstract. The purpose of the work was to assess the possibility of using a geoinformation system during a soil survey of the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University. According to the results of the soil-agrochemical survey, it was found that the humus content of the studied soils is medium- and high-humus, the humus content in the humus-eluvial horizons ranged from 2.13 to 4.15%. The level of acidity of the studied soils varies from strongly acidic (pH_{KCl} 4,11) to neutral (pH_{KCl} 6,49). The value of hydrolytic acidity varies widely from 1.75 to 5.77 mmol (eq)/100 g. The sum of absorbed Ca²⁺ and Mg²⁺ bases in the soils of the studied area varies from 11.2 to 21.8 mmol (eq)/100 g. The sum of the exchange bases strongly correlates with the capacity of the cation exchange ($r = 0.94$), which varies in the range of 14.37 – 25.72 mmol (eq)/100 g. The content of mobile phosphorus compounds in soils varies greatly across the territory of the training and experimental garden and ranges from 112.5 to 1008.95 mg /kg, i.e. from elevated to very high. The content of mobile potassium compounds ranges from 74.6-558.5 mg/kg (from low to very high). With the help of the QGIS program, a database of individual fields (quarters) of the garden was created. The attribute information of the database by field includes soil type, humus content, pH_{KCl}, hydrolytic acidity, content of exchange cations Ca²⁺, Mg²⁺, availability of mobile compounds of phosphorus and potassium. A comparative analysis of the creation of a relief map is given in two ways: through the digitization of SRTM satellite images obtained from the US Geographic Survey website and using the visualization of the relief obtained from the Google Earth Pro service. Agrochemical cartograms were constructed for each studied indicator.

Keywords: *geographical information systems, digitalization, QGIS, physical and chemical characteristics of soils, cartograms*

Citation. Kliatysheva, A.I., Lavrishchev, A.V. (2022), "The use of geoinformation systems in the study of the soil cover of the educational and experimental garden of SPbSAU", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 101–113. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-101-113

Введение. Изучение почвенного покрова является важнейшей составной частью информации о главном объекте сельскохозяйственного производства. Научно обоснованные разработки правильного использования почв как важнейшего компонента биосферы должны опираться на глубокое знание роли почвенного покрова, его характера, свойств, потенциальных возможностей и особенностей природных условий [1; 2].

Для повышения эффективности использования почв, резкого увеличения производительности сельскохозяйственного производства необходимо глубокое и всестороннее изучение особенностей почвенного покрова конкретной территории.

Современный уровень развития науки предполагает применение геоинформационных систем (ГИС) в управлении природными ресурсами, в том числе почвенными [3]. Географические информационные системы являются перспективным и удобным инструментом для хранения и анализа пространственных данных. Объекты сельскохозяйственного производства, как правило, имеют географическую привязку, т. е.

существует принципиальная возможность их картографирования и анализа. Бумажный вариант ведения базы данных имеет очевидные недостатки, связанные с использованием ручного труда, внесением дополнительных ошибок и отсутствием возможности автоматизации манипулирования материалами [4].

Цель настоящих исследований – оценить возможность использования геоинформационной системы при проведении почвенного обследования учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.

В задачи исследований входило:

- изучить некоторые физические и агрохимические свойства почв исследуемой территории;
- при помощи программного обеспечения ГИС создать интерактивную базу данных агрохимических показателей, провести оцифровку рельефа и построить агрохимические картограммы.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектом исследований являлись почвы учебно-опытного сада СПбГАУ. Учебно-опытный сад Санкт-Петербургского государственного аграрного университета является одним из основных исследовательских полигонов для научно-педагогических работников, молодых учёных и студентов. На территории сада проводится научно-исследовательская работа по изучению плодовых и ягодных культур [5; 6], овощных культур, выращиваемых в условиях открытого [7] и защищённого грунта [8; 9]. Площадь сада составляет около 30 га. В саду заложены товарные насаждения яблони, груши, сливы, смородины, крыжовника, жимолости, черноплодной рябины. Кроме того, на территории сада находится питомник плодово-ягодных культур, который имеет всё необходимое для производства посадочного материала: маточно-семенной и маточно-черенковый сад, маточник клоновых подвоев и т. д.

На первом этапе исследований нами была проведена аэрофотосъёмка территории с помощью квадрокоптера DJI Mavic.

Аэрофотосъёмка помогла провести рекогносцировку территории, наметить наиболее типичные места закладки почвенных разрезов. На рис. 1 и 2 представлены фрагменты сада на двух из многочисленных аэрофотоснимков высокого разрешения.

Географическую привязку почвенных разрезов проводили с помощью GPS-навигатора Garmin etrex 30. Для переноса маршрутных точек на космоснимок использовали программу Google Earth Pro.

Распределение маршрутных точек на участке приведено на рис. 3. Создание базы данных с географической привязкой, а также оцифровку рельефа и построение агрохимических картограмм проводили с помощью программы QGIS.

Аналитические работы проводили согласно следующим методикам [10]:

- определение содержания гумуса – по методу И.В. Тюрина;
- определение гидролитической кислотности – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);
- определение суммы обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрическим методом;
- определение ёмкости катионного обмена и степени насыщенности почв основаниями – расчётным методом;
- определение подвижных соединений фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011).



Рисунок 1. Аэрофотоснимок кварталов № 22, 23, 25, 26
Figure 1. Aerial view of blocks no. 22, 23, 25, 26

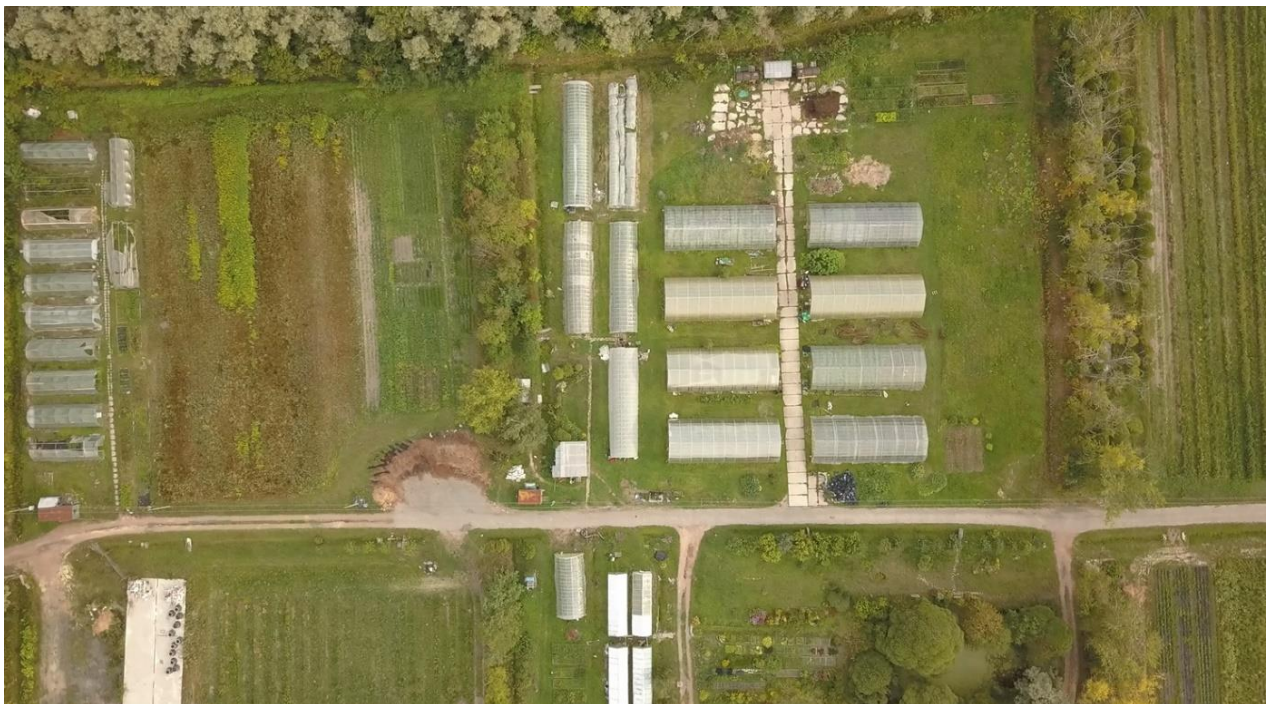


Рисунок 2. Аэрофотоснимок кварталов № 18, 21, 24
Figure 2. Aerial view of blocks no. 18, 21, 24



Рисунок 3. Распределение маршрутных точек на участке
Figure 3. Aerial view of blocks no. 18, 21, 24

Результаты исследования. Данная работа является продолжением исследований, начатых в 2020 г. В результате почвенного обследования территории было выявлено, что все почвы учебно-опытного сада относятся к типу дерново-подзолистых [11]. Изучение морфологических свойств показало, что профили изучаемых почв в результате антропогенного вмешательства лишены подзолистого горизонта. Гумусово-элювиальный горизонт сразу сменяется иллювиальным горизонтом, который практически во всех случаях имеет признаки оглеения. Оглеение иллювиального горизонта связано с утяжелением гранулометрического состава в нижней части почвенного профиля. Практически во всех изученных почвах иллювиальный горизонт имеет глинистый гранулометрический состав и служит своеобразным водупором, способствующим кратковременному избыточному увлажнению, созданию анаэробных условий и, как следствие, протеканию сложных биохимических процессов восстановления элементов с переменной валентностью при участии анаэробных микроорганизмов [12].

Для уточнения названий почвенных разновидностей в лабораторных условиях определяли гранулометрический состав верхних гумусовых горизонтов из всех почвенных разрезов.

Как видно из представленных данных содержания физической глины (частиц $< 0,01$ мм), гранулометрический состав исследуемых почв варьирует от легкосуглинистых до тяжелосуглинистых (табл. 1).

Основными показателями, определяющими физико-химические свойства, являются: кислотность, содержание и состав гумуса, содержание подвижных форм минеральных элементов, сумма поглощённых оснований, ёмкость катионного обмена. Значительная часть дерново-подзолистых почв имеет кислую реакцию среды, небольшое содержание гумуса, низкую обеспеченность подвижными формами фосфора и калия. Такие показатели химических и физико-химических свойств связаны с проявлением подзолообразовательного процесса.

Результаты изучения физико-химических свойств почв представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика почв учебно-опытного сада
Table 1. Physico-chemical characteristics of the soils of the training and experimental garden

№ разреза	Гумус, %	pH _{KCl}	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Нг	ЕКО	V, %	Содержание частиц < 0,01 мм, %
			ммоль(экв)/100г				
1	4,15	4,83	18,1	3,62	21,72	83,3	39,71
2	3,55	5,29	20,9	2,25	23,15	90,3	39,24
3	3,95	5,83	18,8	2,27	21,07	89,2	22,15
4	2,98	6,49	19,2	3,52	22,72	84,5	22,155
5	2,13	4,20	14,2	3,85	18,05	78,7	33,16
6	2,28	4,80	11,2	3,17	14,37	77,9	42,03
7	4,05	4,50	21,8	3,45	25,25	86,3	37,43
8	3,29	4,40	15,3	4,25	19,55	78,3	36,96
9	3,47	4,70	13,8	5,77	19,57	70,5	43,53
10	2,72	5,30	18,9	4,72	23,62	80,0	47,7
11	2,22	6,06	16,7	2,62	19,32	86,4	44,33
12	2,55	5,59	16,4	3,35	19,75	83,0	41,49
13	2,13	5,15	15,1	2,12	17,22	87,7	43,73
14	2,58	4,11	15,2	3,26	18,46	82,3	38,68
16	3,76	4,60	16,2	4,72	20,92	77,4	27,91
17	2,74	5,00	16,8	2,22	19,02	88,3	26,64

Результаты исследований показывают, что содержание гумуса в гумусовых горизонтах изучаемых почв варьируется в пределах от 2,13 до 4,15 %, резко снижаясь с глубиной. По содержанию гумуса исследуемые почвы относятся к средне- и высокогумусным. Тип гумусового профиля во всех почвах – аккумулятивный неполноразвитый.

По уровню кислотности исследуемые почвы варьируют от сильнокислых (pH_{KCl} 4,11) до нейтральных (pH_{KCl} 6,49).

Величина гидролитической кислотности изменяется в широких пределах от 1,75 до 5,77 ммоль(экв)/100 г. Чётких закономерностей изменения pH_{KCl} и гидролитической кислотности по профилю выявлено не было.

Сумма поглощённых оснований Ca²⁺ и Mg²⁺ в почвах изучаемой территории изменяется в пределах 11,2–22,1 ммоль(экв)/100 г. Высокое содержание обменных катионов кальция и магния связано в первую очередь с тяжёлым гранулометрическим составом исследуемых почв. Наибольшее количество поглощённых оснований было выявлено в гумусово-элювиальных горизонтах.

По-видимому, щелочноземельные металлы кальция и магния образуют с гумусом различные органо-минеральные производные, которые обладают слабой миграционной способностью. Как известно, гуматы кальция и магния нерастворимы в воде и образуют водопрочные гели, которые обволакивают тонкой плёнкой минеральные частицы почвы, склеивают и цементируют их (Лаврищев с соавт., 2008). Фульваты этих металлов, хотя и

растворимы в воде, но их миграционная подвижность ограничивается тяжёлым гранулометрическим составом иллювиальных горизонтов данных почв.

Ёмкость катионного обмена в изучаемых почвах изменяется в пределах 14,37–25,72 ммоль(экв)/100 г. Следует отметить, что сумма обменных оснований сильно коррелирует с ёмкостью катионного обмена (ЕКО). Коэффициент корреляции составил: $r = 0,94$.

Степень насыщенности почв основаниями колеблется в пределах 70,5–90,9 %. По этому показателю изученные почвы относятся к слабонасыщенным и нейтральным.

В табл. 2 приведены результаты изучения содержания подвижных соединений фосфора и калия в почвах учебно-опытного сада СПбГАУ.

Таблица 2. Содержание подвижных соединений фосфора и калия в гумусовых горизонтах изучаемых почв

Table 2. The content of mobile phosphorus and potassium compounds in the humus horizons of the studied soils

№ разреза	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1	1008,95 ± 48,4	390,9 ± 18,5
2	478,1 ± 22,1	558,5 ± 25,6
3	443,3 ± 19,8	265,75 ± 12,4
4	226,7 ± 10,3	90,2 ± 4,1
5	733,2 ± 33,2	187,95 ± 9,1
6	564,7 ± 24,6	210 ± 10,2
7	360,1 ± 18,6	122,15 ± 6,1
8	499,15 ± 24,8	124,8 ± 5,8
9	200,3 ± 9,4	237,35 ± 12,1
10	135,15 ± 7,8	237,25 ± 10,5
11	112,5 ± 5,3	370,05 ± 18,6
12	145,5 ± 6,8	429,75 ± 21,7
13	113,25 ± 5,9	74,6 ± 3,2
16	322,25 ± 17,4	146,85 ± 6,6
17	341,55 ± 16,8	223,25 ± 10,4

Как видно из таблицы, содержание подвижных соединений фосфора сильно варьирует по территории обследования. Колебания значений составили от 112,5 до 1008,95 мг/кг, т. е. от повышенного до очень высокого.

Содержание подвижных соединений калия в почвах учебно-опытного сада колебалось в пределах 74,6–558,5 мг/кг (от низкого до очень высокого).

Высокая вариабельность содержания подвижных соединений фосфора и калия, связана, по-видимому, с использованием полей сада под разные сельскохозяйственные культуры, сильно различающиеся по выносу питательных элементов, а также с неодинаковой удобренностью контуров.

Географические информационные системы являются перспективным и удобным инструментом для хранения и анализа информации.

С помощью программы QGIS нами была создана база данных отдельных полей (кварталов) сада. При выделении поля в программе появляется таблица атрибутов, в которой выделенное на карте поле подкрашивается синим фоном. В таблице представлена вся информация по этому полю: тип почвы, гумусированность, рН_{KCl}, гидролитическая кислотность, содержание обменных катионов Ca²⁺, Mg²⁺, обеспеченность подвижными соединениями фосфора и калия (рис. 4).

На следующем этапе была создана карта рельефа учебно-опытного сада СПбГАУ. Карту рельефа формировали двумя способами: а) оцифровывали линии горизонталей с помощью SRTM-сников, полученных с сайта географической службы США;

б) визуализировали kmz-файлы, созданные в программе Google Earth Pro с помощью онлайн-утилиты GPS-visualizer.

Shuttle radar topographic mission (SRTM) – Радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением самых северных (> 60), самых южных широт (> 54), а также океанов, произведенная за 11 дней в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы. Двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR было собрано более 12 терабайт данных. В течение этого времени с помощью метода, называемого радарной интерферометрией (radar interferometry), было собрано огромное количество информации о рельефе Земли, ее обработка продолжается до сих пор. Но определенное количество информации уже доступно пользователям.

Результаты оцифровки SRTM-снимков представлены на рис. 5.

Визуализация рельефа, снятого с портала Google Earth Pro, проводилась с помощью сервиса GPSVisualizer. Результаты этой работы представлены на рис. 6.

Как показано на рисунках, результаты оцифровки двумя способами хорошо коррелируют между собой. На обеих картах виден небольшой холм в юго-западной части карты, который находится за пределами учебно-опытного сада. Центральная часть территории сада находится на возвышении. Абсолютные отметки высот незначительно снижаются при переходе к периферии картируемой территории.

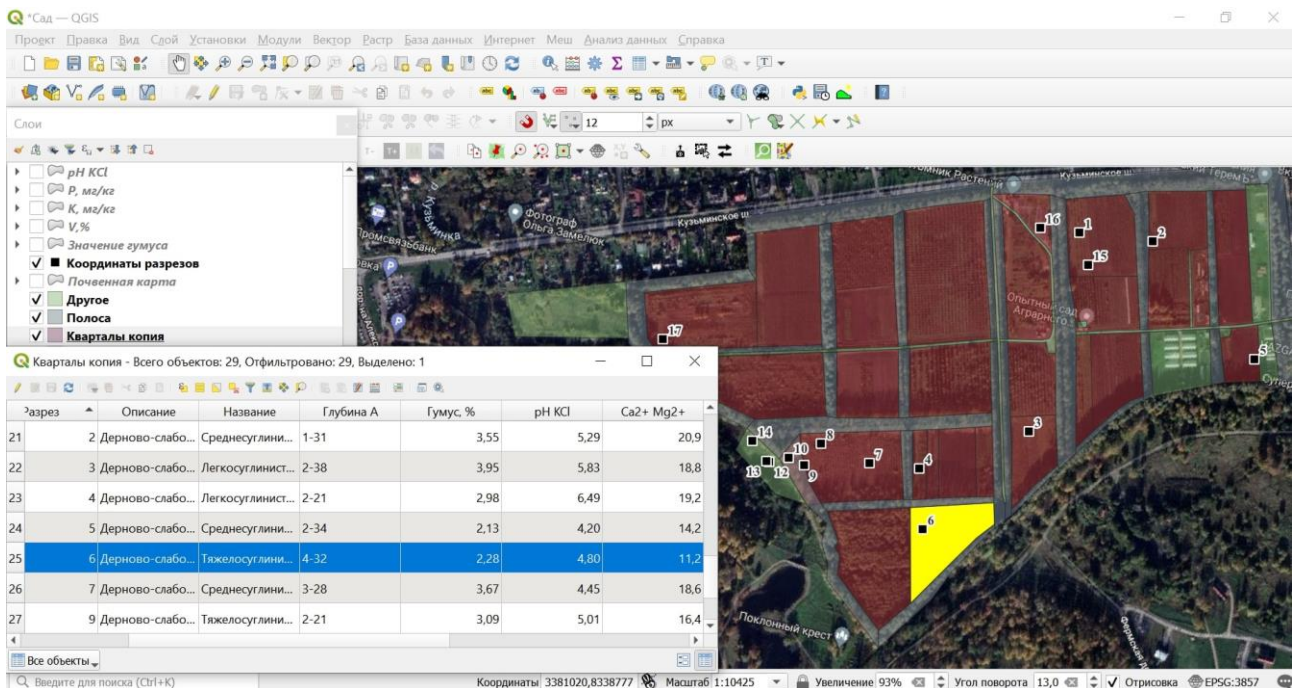


Рисунок 4. Географически привязанная база хранения информации о полях малого опытного поля

Figure 4. Geographically linked database for storing information about the fields of a small experimental field

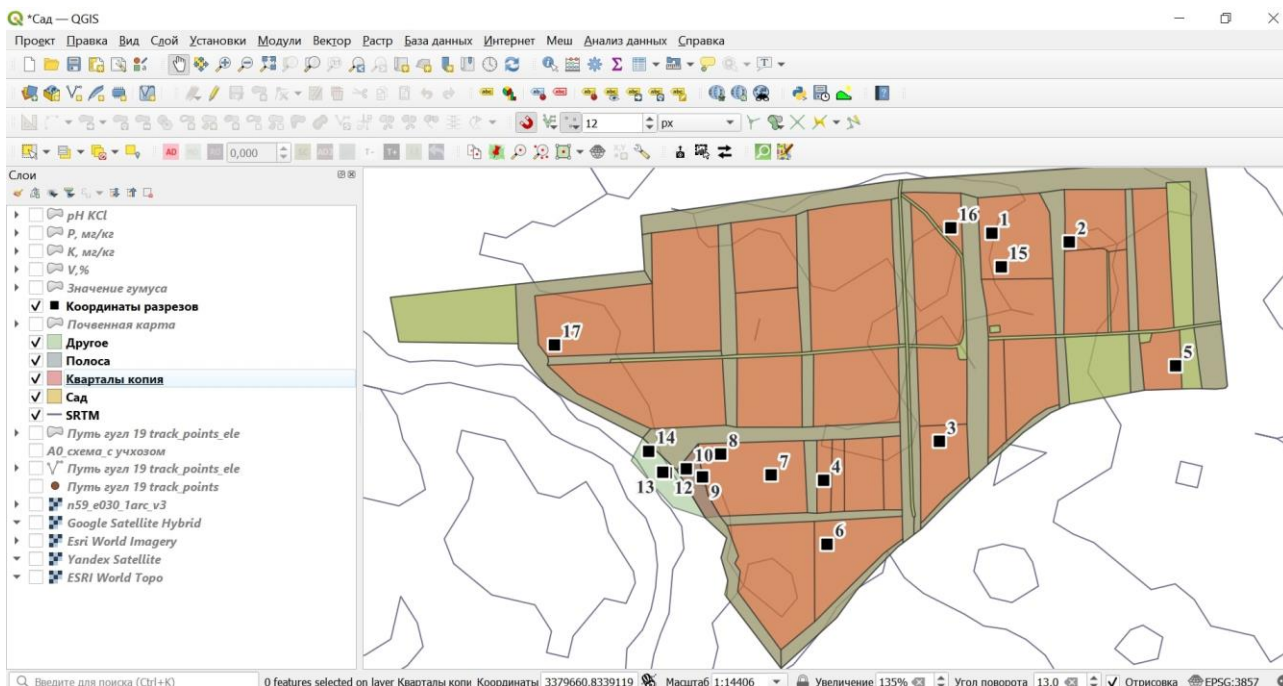


Рисунок 5. Создание линий горизонталей с помощью оцифровки SRTM-снимков в программе QGIS

Figure 5. Creating horizontal lines by digitizing SRTM images in the QGIS program

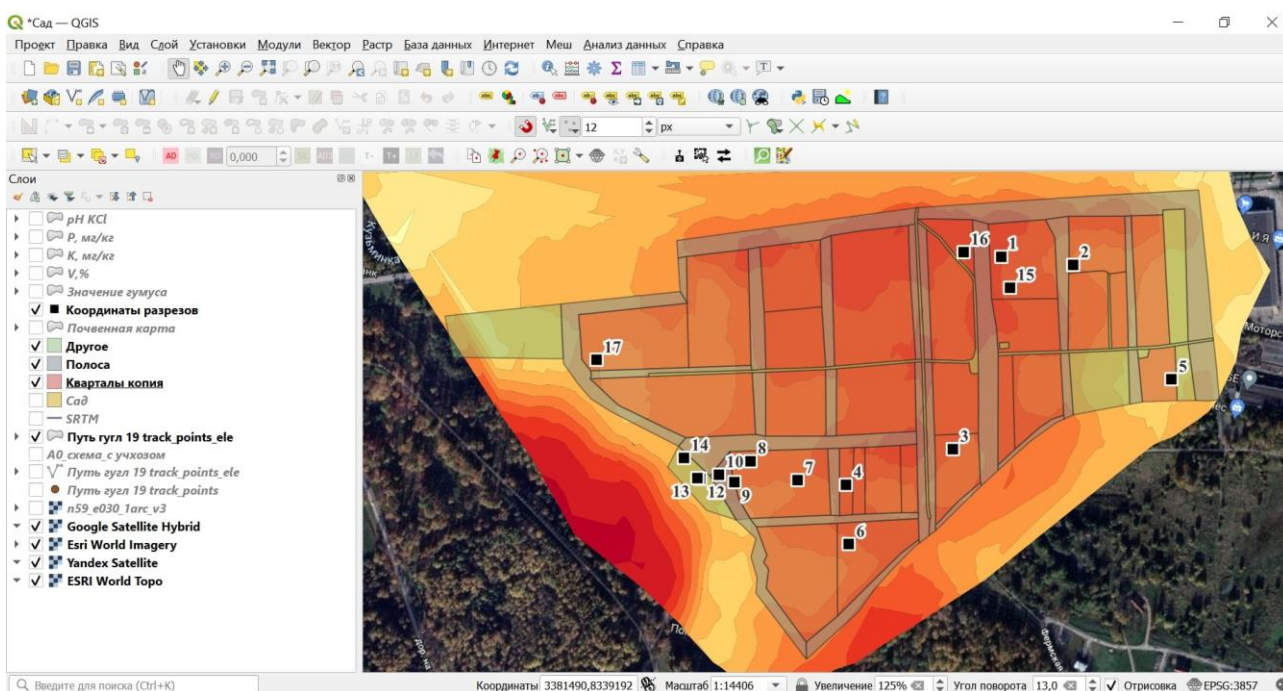


Рисунок 6. Создание карты рельефа учебно-опытного сада в программе QGIS
Figure 6. Creating a relief map of an educational and experimental garden in the QGIS program

Использование ГИС позволяет не только хранить и анализировать информацию, но и визуализировать её.

С помощью программы QGIS были созданы: почвенная карта, агрохимические картограммы обменной (рН_{KCl}) и гидролитической кислотности, степени насыщенности почв основаниями, суммы обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺, а также содержания гумуса и подвижных соединений фосфора и калия. На рис. 7 и 8 представлены агрохимические

картограммы содержания подвижных соединений фосфора и калия в почвах учебно-опытного сада.

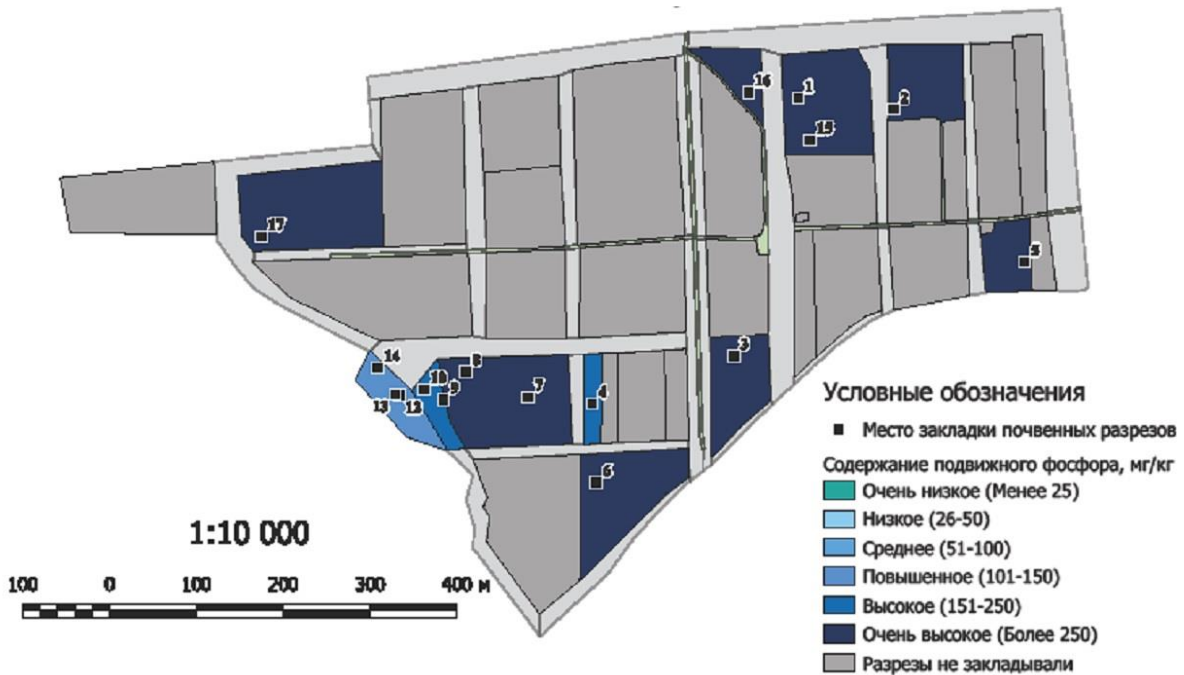


Рисунок 7. Агрохимическая картограмма содержания подвижных соединений фосфора
Figure 7. Agrochemical cartogram of the content of mobile phosphorus compounds

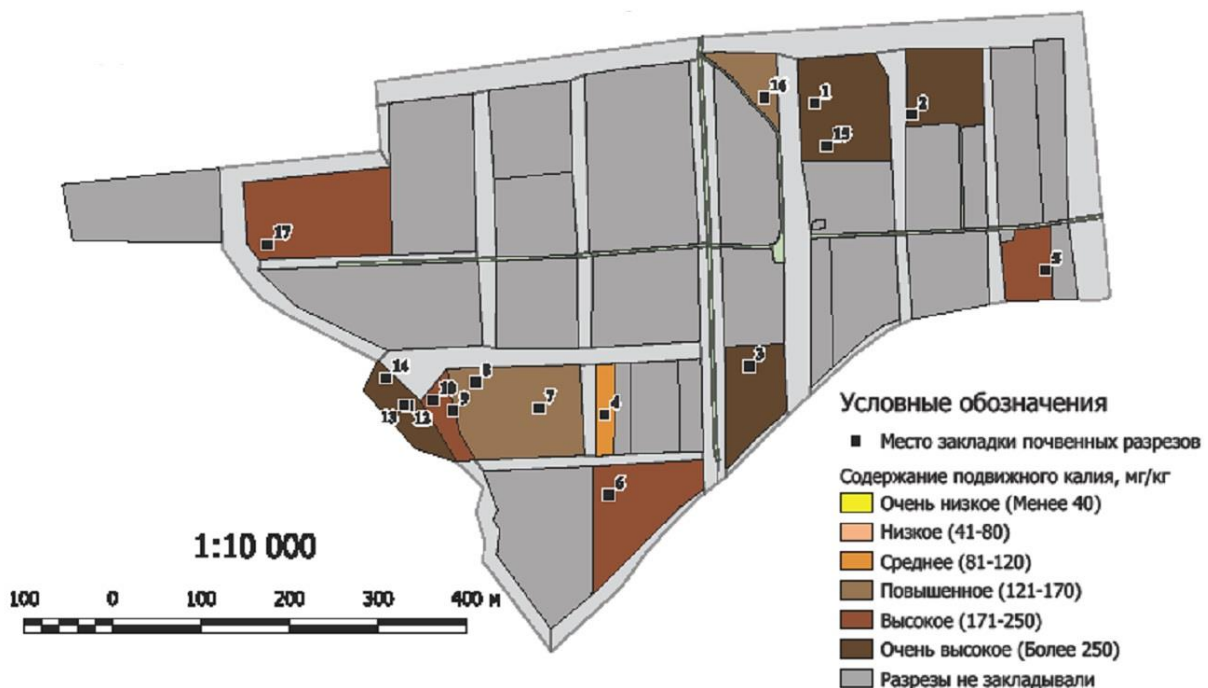


Рисунок 8. Агрохимическая картограмма содержания подвижных соединений калия
Figure 8. Agrochemical cartogram of the content of mobile potassium compounds

Заключение. В результате почвенного обследования территории было выявлено, что все почвы учебно-опытного сада относятся к дерново-подзолистым. Гранулометрический состав исследуемых почв варьирует от легкосуглинистых до тяжелосуглинистых. По содержанию гумуса исследуемые почвы относятся к средне- и высокогумусным. Содержание гумуса в гумусово-элювиальных горизонтах колебалось в пределах от 2,13 до 4,15%. По

уровню кислотности исследуемые почвы варьируют от сильнокислых (pH_{KCl} 4,11) до нейтральных (pH_{KCl} 6,49). Величина гидролитической кислотности изменяется в широких пределах от 1,75 до 5,77 ммоль(экв)/100 г. Сумма поглощённых оснований Ca^{2+} и Mg^{2+} в почвах изучаемой территории варьирует от 11,2 до 21,8 ммоль(экв)/100 г. Сумма обменных оснований сильно коррелирует с ёмкостью катионного обмена ($r = 0,94$), которая изменяется в пределах 14,37 – 25,72 ммоль(экв)/100 г. Содержание подвижных соединений фосфора в почвах сильно варьирует по территории учебно-опытного сада и составляет от 112,5 до 1008,95 мг/кг, т. е. от повышенного до очень высокого. Содержание подвижных соединений калия колеблется в пределах 74,6–558,5 мг/кг (от низкого до очень высокого).

С помощью программы QGIS проведена оцифровка рельефа учебно-опытного сада, создана база данных отдельных полей (кварталов) сада. В ГИС представлена информация по каждому полю, в т. ч. тип почвы, гумусированность, pH_{KCl} , гидролитическая кислотность, содержание обменных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , обеспеченность подвижными соединениями фосфора и калия. Построены агрохимические картограммы по каждому изученному показателю.

Список источников литературы

1. Understanding soils: their functions, use and degradation / E. Saljnikov, F. Eulenstein, A.V. Lavrishchev, W. Mirschel, W. Blum, B.M. McKenzie, L. Lilburne, J. Römbke, B.M. Wilke, U. Schindler, L. Mueller. // *Advances in Understanding Soil Degradation. Ser. "Innovations in Landscape Research"*. – Cham, 2022. – P. 1–42.
2. Types of physical soil degradation and implications for their prevention and monitoring / Saljnikov E., Mirschel W., Prasuhn V., Keller T., Blum W., Chumbaev A.S., Zhang J., Abuduwaili J., Eulenstein F., Lavrishchev A.V., Schindler U., Mueller L. // *Advances in Understanding Soil Degradation. Ser. "Innovations in Landscape Research"*. – Cham, 2022. – P. 43–73.
3. Мелентьев, А.А. Применение ГИС-технологий в сельском хозяйстве / А.А. Мелентьев, Н.М. Затолокина // *Вектор ГеоНаук*. 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 79–86.
4. Ботнева, Ю.С. Применение геоинформационных систем в сельском хозяйстве / Ю.С. Ботнева, А.А. Потапов // *Вопросы науки и образования*. – 2018. – № 10 (22). – С. 152–154.
5. Щербакова, Г.В. Особенности размножения ремонтантной малины в условиях Ленинградской области / Г.В. Щербакова, Н.А. Адрицкая, Е.С. Кравцова // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 4(49). – С. 21–25.
6. Горбачева, Н.Н. Результаты выращивания сливы в питомнике при разных способах прививки / Н.Н. Горбачева // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 3(56) – С. 31–36.
7. Улимбашев, А.М. Влияние массы севка на урожайность и качество зеленого лука / А.М. Улимбашев // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 4(61). – С. 9–16.
8. Лаврищева, Т.А. Накопление пигментов листьями цикорного салата эндивия (*Cichorium endivia* L.) в зависимости от площади питания и сроков посадки / Т.А. Лаврищева, Г.С. Осипова // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 58. – С. 20–25.
9. Лаврищева, Т.А. Влияние продолжительности выращивания на рост и развитие различных сортов цикория салатного (*Cichorium intybus* L. Var. *Foliosum*) / Т.А. Лаврищева // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2020. – № 59. – С. 14–21.
10. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие для вузов / Новицкий М.В. и др. – СПб.: Проспект науки, 2021. – 332 с.
11. Лаврищев, А.В. Почвы учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета / А.В. Лаврищев, А.И. Клятышева // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 1 (62). – С. 101–112.
12. Клятышева, А.И. Особенности морфологического строения почв учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета / А.И. Клятышева // *Мы – будущее Казахстана: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Казахстан*. – Уральск: Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир-хана (ЗКАТУ), 2021. – С. 76–80.

References

1. Saljnikov E., Eulenstein F., Lavrishchev A.V., Mirschel W., Blum W., McKenzie B.M., Lilburne L., Römbke J., Wilke B.M., Schindler U., Mueller L. (2022), Understanding soils: their functions, use and degradation, *Advances in Understanding Soil Degradation, ser. "Innovations in Landscape Research"*, Cham, pp. 1–42.
2. Saljnikov E., Mirschel W., Prasuhn V., Keller T., Blum W., Chumbaev A.S., Zhang J., Abuduwaili J., Eulenstein F., Lavrishchev A.V., Schindler U., Mueller L. (2022), Types of physical soil degradation and implications for their prevention and monitoring, *Advances in Understanding Soil Degradation, ser. "Innovations in Landscape Research"*, Cham, pp. 43–73.
3. Melent'ev, A.A., Zatolokina, N.M. (2018), Application of GIS technologies in agriculture, *Vektor GeoNauk*, vol. 1, no. 2, pp. 79–86. (In Russ.).
4. Botneva, YU.S., Potapov, A.A. (2018), Application of geoinformation systems in agriculture, *Voprosy nauki i obrazovaniya*, no.10 (22), pp. 152–154. (In Russ.).
5. Shcherbakova, G.V., Adrickaya, N.A., Kravcova, E.S. (2017), Features of reproduction of remontant raspberries in the conditions of the Leningrad region, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 4(49), pp. 21–25. (In Russ.)
6. Gorbacheva, N.N. (2019), The results of growing plums in a nursery with different methods of vaccination, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 3(56), pp. 31–36. (In Russ.)
7. Ulimbashev, A.M. (2020), The influence of the mass of sowing on the yield and quality of green onions, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 4(61), pp. 9–16.
8. Lavrishcheva, T.A., Osipova, G.S. (2020), Accumulation of pigments by leaves of endive cymon lettuce (*Cichorium endivia* L.) depending on the area of nutrition and planting dates, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 58, pp. 20–25. (In Russ.).
9. Lavrishcheva, T.A. (2020), The effect of the duration of cultivation on the growth and development of various varieties of lettuce chicory (*Cichorium intybus* L. Var. *Foliosum*), *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 59, pp. 14–21. (In Russ.).
10. Novickij, M.V. et al. (2021), *Laboratorno-prakticheskie zanyatiya po pochvovedeniyu: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Laboratory and practical classes in soil science: A textbook for universities], SPb., Prospekt nauki, 332 p. (In Russ.).
11. Lavrishchev, A.V., Klyatysheva, A.I. (2021), Soils of the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 1 (62), pp. 101–112. (In Russ.).
12. Klyatysheva, A.I. (2021), Osobennosti morfologicheskogo stroeniya pochv uchebno-opytного sada Cankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Features of the morphological structure of soils of the educational and experimental garden of St. Petersburg State Agrarian University], *My – budushchee Kazahstana, materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 30-letiyu nezavisimosti Respubliki Kazahstan, Zapadno-Kazahstanskij agrarno-tekhnicheskij universitet im. ZHANGIR-hana (ZKATU)*, pp. 76–80. (In Russ.).

Сведения об авторах

Клятышева Анастасия Ильинична – старший лаборант кафедры почвоведения и агрохимии имени Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 7582-1329.

Лаврищев Антон Викторович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой почвоведения и агрохимии имени Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 8244-8422, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

Information about the authors

Anastasia I. Klyatysheva – Senior laboratory assistant of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L.N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7582-1329.

Anton V. Lavrishchev – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L.N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 8244-8422, Scopus author ID: 123456789123, Researcher ID: Q-1234-2020.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья поступила в редакцию 31.10.2021; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2021; approved after reviewing 21.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 628.381.1

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-113-121

ВЛИЯНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА НАКОПЛЕНИЕ Pb, Cd В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

Анна Сергеевна Пинаева¹, Ирина Владимировна Ельшаева²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; pinaeva95@inbox.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>

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

Реферат. Возможности использования осадков сточных вод в качестве удобрений определяются их химическим составом, санитарно-токсикологическим и физическим состоянием. В каждом случае использованию этих отходов должны предшествовать исследования, доказывающие не только их пищевую ценность, но и безопасность, и разработка экологически чистой технологии их утилизации. Целью работы является токсикологическая оценка техногенного грунта на основе осадков сточных вод и золы ТЭЦ, используемого для восстановления нарушенных антропогенной деятельностью земель. Задачи исследования заключаются в следующем: определение концентрации тяжелых металлов первого класса опасности (кадмия и свинца) в техногрунте при внесении различных доз коммунальных отходов; анализ поступления данных тяжелых металлов в растения в условиях вегетационного опыта; исследование влияния агрохимических условий на накопление токсикантов злаковыми травами. Эффективность действия грунта на основе осадков сточных вод определялась в сравнении с известкованным торфогрунтом (контроль-фон), традиционно используемым для выращивания газонных трав. В работе отмечена четкая взаимосвязь между увеличением дозы ОСВ и содержанием тяжелых металлов в торфогрунте. Проведено сравнение поступления свинца и кадмия в растения из торфогрунта за 2 года опыта, рассчитан

коэффициент накопления тяжелых металлов растениями. Установлено, что накопление исследуемых тяжелых металлов в растениях в большей степени зависит от кислотности и содержания фосфора, чем от дозы отходов в грунте. Коэффициенты корреляции показывают, что связь между двумя агрохимическими показателями сильнее ($R=0,84$, $R=0,83$) в первый год опыта, чем во второй ($R=0,56$, $R=0,57$). По результатам полученных исследований определена предельная доза внесения отходов.

Ключевые слова: осадки сточных вод, тяжелые металлы, травосмеси, восстановление нарушенных земель

Цитирование. Пинаева А. С., Ельшаева И. В. Влияние осадка сточных вод на накопление Pb, Cd в системе почва-растение // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 113–121. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-113-121

THE EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON THE ACCUMULATION OF Pb, Cd IN THE SOIL-PLANT SYSTEM

Anna S. Pinaeva¹, Irina V. Elshaeva²

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; pinaeva95@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>

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

Abstract. The possibilities of using sewage sludge as fertilizers are determined by their chemical composition, sanitary-toxicological and physical condition. In each case, the use of these wastes must be preceded by research that proves not only their nutritional value, but also safety, and the development of an environmentally friendly technology for their disposal. The aim of the work is the toxicological assessment of technogenic soil based on sewage sludge and ash from a thermal power plant used to restore lands disturbed by anthropogenic activity. The objectives of the study are as follows: determination of the concentration of heavy metals of the first hazard class (cadmium and lead) in the techno-soil when various doses of municipal waste are introduced; analysis of the input of these heavy metals into plants under the conditions of a vegetation experiment; study of the effect of agrochemical conditions on the accumulation of toxicants by cereal grasses. The effectiveness of the action of the soil based on sewage sludge was determined in comparison with the limed peat soil (background control), traditionally used for growing lawn grasses. The work noted a clear relationship between an increase in the dose of SS and the content of heavy metals in the peat soil. A comparison was made of the intake of lead and cadmium in plants from peat soil over 2 years of experience, and the coefficient of accumulation of heavy metals by plants was calculated. It has been established that the accumulation of the studied heavy metals in plants depends largely on acidity and phosphorus content than on the dose of waste in the soil. The correlation coefficients show that the relationship between the two agrochemical parameters is stronger ($R=0.84$, $R=0.83$) in the first year of the experiment than in the second ($R=0.56$, $R=0.57$). Based on the results of the studies obtained, the maximum dose of waste was determined.

Keywords: sewage sludge, heavy metals, leguminous-cereal mixed grass crops, restoration of disturbed lands

Citation. Pinaeva, A.S., Elshaeva, I.V. (2022), "The effect of sewage sludge on the accumulation of Pb, Cd in the soil-plant system", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 113–121. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-113-121

Введение. В настоящее время все больше и больше обостряются проблемы, связанные с рациональной, экономически эффективной и экологически безопасной переработкой постоянно увеличивающегося количества городских стоков и осадков сточных вод (ОСВ) [1].

В РФ производство осадков сточных вод оценивается в 2,5 млн т сухого вещества в год. На специальных иловых картах, занимающих огромные территории, складывается до 90% ОСВ, которые образуются в населённых пунктах. В настоящее время 95% иловых карт по всей стране уже заполнены, и возникает острая необходимость решения этой проблемы [2].

Существует несколько методов утилизации сточных вод в современных условиях: использование в сельском хозяйстве, захоронение на свалках, компостирование, сжигание, применение в виде строительного материала и др. Захоронение и сохранение осадков на иловых картах относятся к основным методам утилизации. Из-за высокой стоимости капитальных сооружений в Российской Федерации термические методы переработки почти не используются. Один из эффективных и экономичных способов утилизации ОСВ – применение в качестве удобрительного материала. В зарубежных странах использование ОСВ в сельскохозяйственном производстве колеблется от 20 до 60%, тогда как в Российской Федерации оно достигает лишь 7% [3]. Применение осадка в качестве удобрения имеет положительные и отрицательные стороны (табл. 1).

ОСВ, имея отрицательные характеристики, перечисленные в таблице, могут не только привести к загрязнению компонентов окружающей среды, но и создать угрозу здоровью человека. Необходимо предварительно изучить исследуемое нетрадиционное органическое удобрение для использования его с точки зрения экологической безопасности [4–6].

Таблица 1. Сравнительная характеристика использования удобрения на основе ОСВ
Table 1. Comparative characteristics of the use of fertilizer based on sewage sludge

Положительный эффект	Отрицательный эффект
1. Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при внесении осадков в почву 2. Положительное влияние на биопродуктивность и биологическую активность почвы 3. Увеличение плодородия почв, создание агрономически ценной структуры почвы	1. Удобрения содержат общетоксические, токсикогенетические, эмбриотоксические соединения, токсические вещества, пестициды, полихлорированные бифенилы, алифатические соединения, нитраты 2. Наличие тяжелых металлов: хром, кадмий, ртуть, медь, свинец, кобальт, цинк, молибден 3. Наличие биологических объектов – бактерий, простейших, гельминтов, вирусов

К настоящему времени разработаны некоторые способы по предотвращению поступления токсичных веществ в природную среду [7–9]. Для снижения отрицательного влияния ОСВ как удобрительного материала возможно создание компоста из осадка и золы теплоэлектростанций (ТЭЦ) с целью получения полезного продукта для использования в качестве рекультиванта при восстановлении ранее нарушенных антропогенной деятельностью земель и обеспечения роста растений на данных территориях [1; 3; 4].

Цель исследования. Цель настоящей работы заключается в исследовании интенсивности поглощения свинца и кадмия из торфогрунта газонными злаковыми травами при внесении смеси коммунальных отходов (ОСВ и золы ТЭЦ).

Материалы, методы и объекты исследования. Для изучения различных доз и видов отходов на содержание свинца и кадмия в системе почва-растение в 2019 г. был заложен вегетационный опыт. В опыте были исследованы смеси коммунальных отходов и торфа в рекомендованном соотношении (торф: отход = 1:0,25) [7] и в более узком соотношении (торф: отход = 1:0,5). Исследуемые отходы содержат питательные элементы: P_2O_5 – 367,5 мг/кг, K_2O – 155,7 мг/кг, N – 88,75 мг/кгс щелочной реакцией среды (pH – 10,7). Содержание тяжелых металлов (ТМ) не превышает нормативов, установленных ГОСТ Р 17.4.3.07–2001.

Рассматривались два вида смеси осадков сточных вод и золы углей каменных (I и II), которые отличаются содержанием свинца (35 мг/кг, 22 мг/кг соответственно). Образцы смеси были проанализированы в аккредитованной лаборатории СПбГАУ.

Схема опыта состояла из 6 вариантов:

- 1) контроль – торф кислый верховой;
- 2) торфогрунт известкованный;
- 3) торф : ОСВ+зола I – 1:0,25;
- 4) торф: ОСВ+зола II – 1:0,25;
- 5) торф :ОСВ+зола I – 1:0,5;
- 6) торф: ОСВ+зола II – 1:0,5.

Повторность опыта 3-кратная. Опыт был продолжен в 2020 г. для изучения техногенных грунтов в последствии.

Ботанический состав выращиваемой травосмеси: Райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) – 20%, Люцерна изменчивая (*Medicago polymorpha*) – 40%, Кострец безостый (*Bromopsis inermis* Holub.) – 40%.

Норму высева рассчитывали, исходя из площади вегетационного сосуда. При площади одного сосуда 283,4 см² количество всхожих семян на один сосуд составило: райграс пастбищный – 7 шт., люцерна посевная – 8 шт., кострец безостый – 10 шт.

Содержание кадмия и свинца в торфе и растительных образцах было определено на атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией марки Shimadzu AA-7000. Подготовка растительных образцов была проведена методом мокрого озоления в смеси азотной и хлорной кислот (1:4); торфогрунта – обработкой 5 М азотной кислотой при 3-часовом кипячении.

Образцы торфогрунта были исследованы на следующие агрохимические показатели: зольность торфа (ГОСТ 11306–2013); определение обменной (рН) кислотности (ГОСТ 26483–85); содержание подвижных соединений P₂O₅, K₂O (ГОСТ 26207-91) [10].

Результаты исследования. Агрохимические показатели торфогрунта представлены на рис. 1–4. Включение в состав верхового торфа в компост снизило кислотность смеси с 10,7 до 6,94–7,85, таким образом это дало возможность выращивать растения на данном торфогрунте (рис. 2).

Содержания фосфора и калия во второй год опыта (рис. 3–4) в среднем по вариантам ниже, чем в 2019 г. в 2,33 и 1,74 раза соответственно.

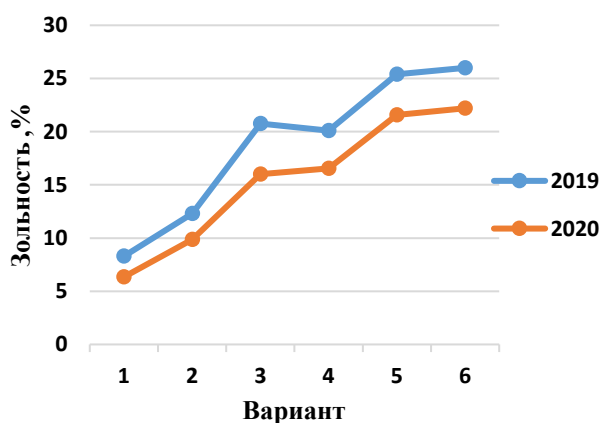


Рисунок 1. Зольность торфогрунта, %
Figure 1. Ash content of peat soil, %

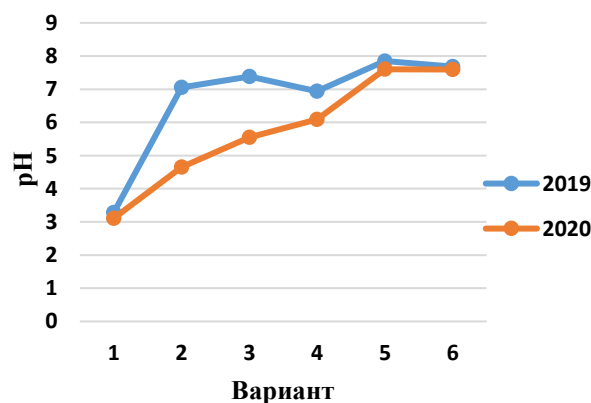


Рисунок 2. pH торфогрунта
Figure 2. pH of peat soil

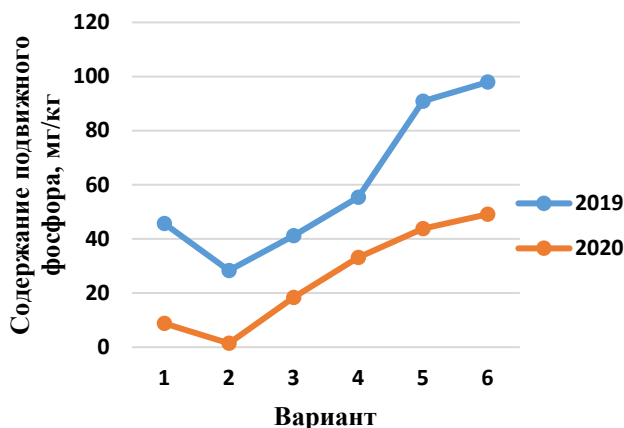


Рисунок 3. Содержание P_2O_5 , мг/кг
Figure 3. P_2O_5 content, mg/kg

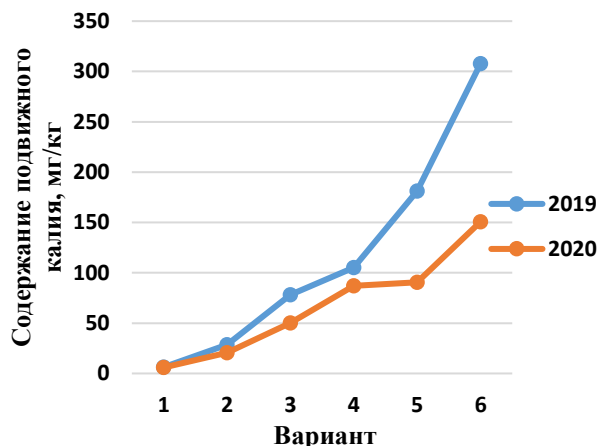


Рисунок 4. Содержание K_2O , мг/кг
Figure 4. K_2O content, mg/kg

Содержание свинца в торфогрунте в среднем по опыту в 3,3 раза ниже в 2020, чем в 2019 г. (рис. 5). Концентрация свинца в торфогрунте в первый и второй год опыта определяется величиной соотношения ОСВ, золы и агрохимическими свойствами почвы. Превышение ПДК наблюдалось в варианте 5 (торф: ОСВ+зола I 1:0,5) и 6 (торф: ОСВ+зола II 1:0,5) в первый год опыта в 1,53 и 1,30 раза соответственно.

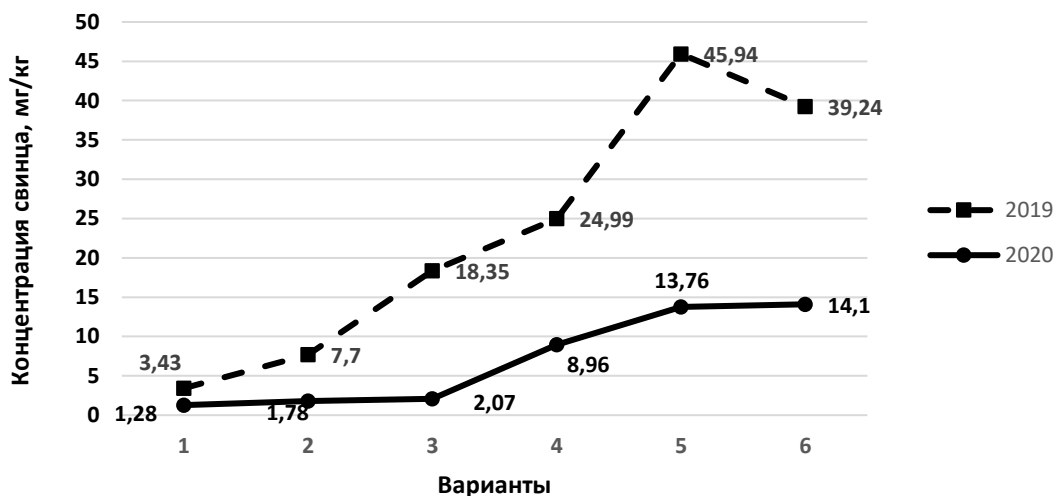


Рисунок 5. Концентрация свинца в торфогрунте, мг/кг
Figure 5. Lead concentration in of peat soil, mg/kg

В первый год опыта концентрация свинца в травосмеси не превышала временный максимально допустимый уровень (МДУ), который составляет 5,0 мг/кг для кормов (рис. 6). Аккумуляция свинца во второй год опыта была больше в 1,17–2,34 раз, чем концентрация металла в первый год опыта.

Для того чтобы определить, аккумулируют растения тяжелые металлы или нет, используется коэффициент накопления (КН). Этот коэффициент показывает избирательную способность поглощения химических элементов растениями. Если отношение концентрации ТМ в зеленой массе к концентрации в почве превышает единицу, то растение является концентратором, если не превышает – не является таковым.

КН свинца травосмесью в первый вегетационный год не превышал единицы, среднее значение по опыту составляло 0,12. Во второй год среднее значение коэффициента накопления составляло 0,81 по опыту, что в 6,75 раз больше, чем в 2019 г.

В 2020 г. Рb наиболее доступен растениям [11; 12; 13]. В этот год аккумуляция металла зеленой массой наблюдается в 3-м варианте опыта, что связано с показателями кислотности почвы, содержания фосфора, которые повышают подвижность и биологическую доступность свинца. Коэффициент корреляции в первый год опыта показывает сильную связь между рН и доступностью свинца растениями ($R=0,84$). На второй год связь становится средней ($R=0,56$). Такие же связи наблюдаются и с подвижным фосфором: в 2019 г. $R=0,83$, в 2020 г. $R=0,57$.

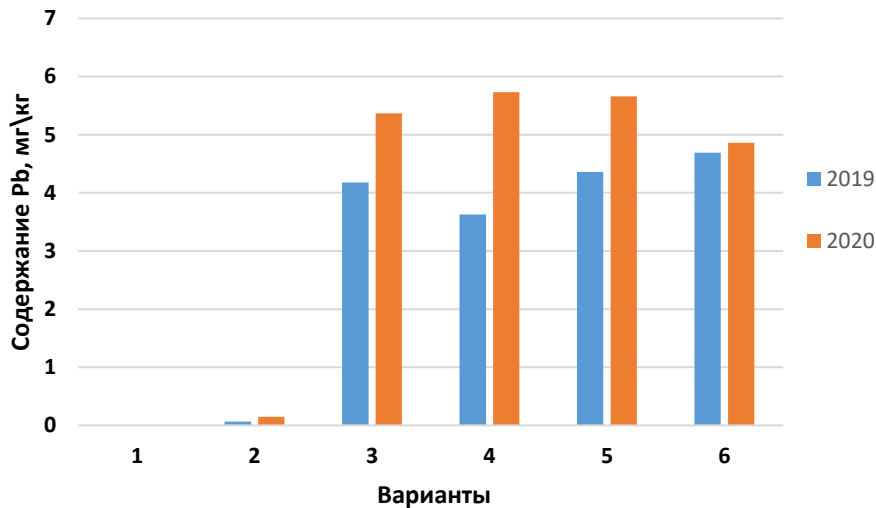


Рисунок 6. Содержание свинца в растениях травосмеси, мг/кг
Figure 6. Lead content in grass mixture plants, mg/kg

Содержание кадмия в почве различается по вариантам и годам опыта (рис. 7). Превышение в первый год вегетационного опыта ориентировочно-допустимой концентрации (ОДК), которая составляет 2 мг/кг, наблюдается в 1,4, 2,63, 2,73 раза в 4-м, 5-м, 6-м вариантах соответственно. Содержание во второй год опыта снижено и не превышает ОДК.

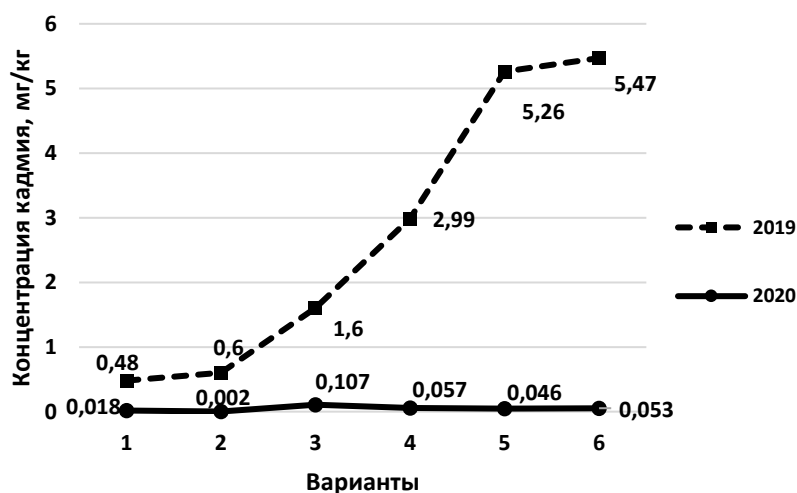


Рисунок 7. Концентрация кадмия в торфогрунте, мг/кг
Figure 7. Cadmium concentration in peat soil, mg/kg

В 2019 г. содержание кадмия в растениях не превышало МДУ и составляло в среднем 2,94 мг/кг. Во второй год концентрация была минимальной и составляла ниже 0,001 мг/кг в среднем по опыту, что обуславливается высоким выносом (среднее значение КН = 1,59)

кадмия злаковыми травами в первый год опыта. Известно, что Люцерна изменчивая активно аккумулирует тяжелые металлы, в частности Pb и Cd, причем во 2-м укосе накапливает больше свинца, чем в первом [13].

Выводы. При внесении различных доз коммунальных отходов наблюдалось повышение концентрации тяжелых металлов первого класса опасности (кадмия и свинца) в техногрунте. Анализ поступления данных тяжелых металлов в растения в условиях вегетационного опыта показал, что свинец и кадмий аккумулировались в первый год опыта во всех вариантах с применением отходов, не превышая концентрацию временного допустимого максимального уровня. Накопление свинца в большей степени зависело от кислотности, содержания фосфора, а также определялось биологической способностью к аккумуляции тяжелых металлов Люцерны изменчивой. Коэффициенты корреляции (0,84 и 0,83) показывают сильную связь между изменением кислотности грунта, содержанием в нем подвижного фосфора и поступлением свинца в растения. Можно считать экологически безопасной рекомендованную дозу (0,25) в соотношении торфа и смеси коммунальных отходов, при таком соотношении отмечено минимальное поступление токсичных агентов из осадка.

Список источников литературы

1. Пахненко, В.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / В.П. Пахненко. – М.: БИНОМ, 2015. – 311 с.
2. Молев, М.Д. Переработка и возможность использования осадка сточных вод / М.Д. Молев, С.И. Паскарелов // Перспективы технологии в строительстве и техносферной безопасности: сборник научных трудов. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2021. – С.49–54.
3. Grobelak, A. Sludge multifunction's in a phytobiome – Forest and plantation application including microbial aspects / A. Grobelak, M. Jaskulak // *Industrial and Municipal Sludge*. – United Kingdom, Oxford: Butterworth-Heinemann. – 2019. – P.323–336. – DOI: 10.1016/B978-0-12-815907-1.00014-3.
4. Титова, В.И. Агрэкология: учебное пособие / В. И. Титова. – Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. – 207 с.
5. Gintaras, S. Assessment of a single application of sewage sludge on the biomass yield of *Silphium perfoliatum* and changes in naturally acid soil properties / S. Gintaras, K. Danute, A. Jurate // *Zemdirbyste-Agriculture*. – 2019. – № 106. – P. 213–218.
6. From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites / A. Burges, I. Alkorta, L. Epelde, C. Garbisu // *International Journal of Phytoremediation*. – 2018. – № 20. – P. 384–397.
7. Elshaeva, I.V. Environmental aspects of the use of sewage sludge as fertilizer materials / I.V. Elshaeva, E.V. Voropaeva, A.S. Pinaeva // *IOP Conference series: Earth and Environmental science*. – 2020. – № 613. – P. 012031. – DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012031.
8. Kwarciak-Kozłowska, A. Co-composting of sewage sludge and wetland plant material from a constructed wetland treating domestic wastewater / A. Kwarciak-Kozłowska. – *Industrial and Municipal Sludge*. – 2019. – P. 337–360. – DOI:10.1016/B978-0-12-815907-1.00015-5.
9. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas / Ilinskiy A.V., Selmen V.N., Selmen E.V., Karyakina S.D, Matyukhin M.S., Grebennikova V.V. // *Theoretical and applied ecology*. – 2022. – № 2. – P. 191–197. – DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-191-197.
10. Воробейников, Г.А. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии / Г.А. Воробейников, В. П. Царенко, Н. Ф. Лунина. – СПб.: Проспект Науки, 2014. – 144 с.
11. Захаров, А.И. Влияние ОСВ и различных видов органических удобрений на содержание ТМ в почве и поступлении их в зерно озимой пшеницы / А. И. Захаров, С. Н. Никитин // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии: УГАУ им. П.А. Столыпина*. – 2014. – № 4(28). – С. 10–13.
12. Ельшаева, И. В. Экология почв селитебных территорий / И. В. Ельшаева // *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортзамещения: сборник научных трудов*. – Ч. I. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – С. 17–20.

13. Медведев, И.Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / Медведев И. Ф., Деревягин С.С. – Саратов: «Ракурс», 2017. – С. 131–132.

References

1. Pakhnenko, V.P. (2015), *Osadki stochnyh vod i drugie netradicionnye organicheskie udobreniya* [Sewage sludge and other non-traditional organic fertilizers], Moscow, Binom, p. 311. (In Russ.)
2. Molev, M.D and Paskarelov, S.I. (2021), *Pererabotka i vozmozhnost' ispol'zovaniya osadka stochnyh vod* [Processing and the possibility of using sewage sludge], *Prospects for technology in construction and technospheric safety: a collection of scientific papers*, Shakhty, pp. 49–54. (In Russ.)
3. Grobelak, A. and Jaskulak, M. (2019), *Sludge multifunctions in a phytobiome—Forest and plantation application including microbial aspects*, *Industrial and Municipal Sludge*, United Kingdom, Oxford, Butterworth-Heinemann, pp. 323–336, DOI:10.1016/B978-0-12-815907-1.00014-3.
4. Titova, V.I. (2017), *Agroekologiya: uchebnoe posobie* [Agroecologia: a textbook], Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pp. 166 – 167. (In Russ.)
5. Gintaras, S., Danute, K. and Jurate, A. (2019), *Assessment of a single application of sewage sludge on the biomass yield of Silphium perfoliatum and changes in naturally acid soil properties*, *Zemdirbyste-Agriculture*, no. 106, pp. 213–218.
6. Burges, A., Alkorta, I., Epelde, L. and Garbisu, C. (2018), *From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites*, *International Journal of Phytoremediation*, no. 20, pp.384–397.
7. Elshaeva, I.V., Voropaeva, E.V. and Pinaeva, A.S. (2020), *Environmental aspects of the use of sewage sludge as fertilizer materials*, *IOP Conference series: Earth and Environmental science*, no. 613, pp. 012031, DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012031.
8. Kwarciak-Kozłowska, A. (2019), *Co-composting of sewage sludge and wetland plant material from a constructed wetland treating domestic wastewater*, *Industrial and Municipal Sludge*, pp. 337-360, DOI:10.1016/B978-0-12-815907-1.00015-5.
9. Ilinskiy, A.V, Selmen, V.N., Selmen, E.V., Karyakina, S.D, Matyukhin, M.S. and Grebennikova, V.V. (2022), *The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas*, *Theoretical and applied ecology*, no. 2, pp. 191–197, DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-191-197.
10. Vorobeinikov, G.A., Tsarenko, V.P. and Lunina, N.F. (2014), *Polevie i vegetacionnie issledovaniya po agrohimii i fitofiziologii* [Field and vegetation studies in agrochemistry and phytophysiology], St. Petersburg, Prospekt Nauki, p.144. (In Russ.)
11. Zakharov, A.I., Nikitin, S.N. (2014), *The influence of OSV and various types of organic fertilizers on the content of TM in the soil and their entry into winter wheat grain*, *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, no. 4 (28), pp. 10–13. (In Russ.)
12. Elshaeva, I.V. (2018), *Ekologiya pochv selitebnykh territorii* [Ecology of soils of residential territories], *Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution: a collection of scientific papers*, SPbSAU, St. Petersburg, part I, pp. 17– 20. (In Russ.)
13. Medvedev, I.F. Derevyagin, S.S. (2017), *Tyazheliemetalli v ekosistemah* [Heavy metals in ecosystems], Saratov, "Rakurs", pp. 131–132.(In Russ.)

Сведения об авторах

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.

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 author ID: 57221476016, Researcher ID: AFX-0170-2022.

Information about the authors

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.

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, Researcher ID: AFX-0170-2022.

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 31.10.2022; одобрена после рецензирования 05.12.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 05.12.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 633.2

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-122-130

**СТРУКТУРА ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В СИСТЕМЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО
СЫРЬЕВОГО КОНВЕЙЕРА****Светлана Яковлевна Бевз¹, Елена Андреевна Тошкина²**

¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Большая Санкт-Петербургская улица, 41, г. Великий Новгород, 173003, Россия, Svetlana.Bevz@novsu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3528-1055>

²Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Большая Санкт-Петербургская улица, 41, г. Великий Новгород, 173003, Россия, Elena.Toshkina@novsu.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7166-227X>

Реферат. На территории Северо-Западного региона России имеется большое количество естественных кормовых угодий. Наиболее эффективное использование кормовых площадей сельскохозяйственные организации могут осуществить в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера. Целью исследований являлось научное обоснование необходимой структуры посевных площадей под кормовыми культурами в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера для усовершенствования кормовой базы животноводства Новгородской области Северо-Западного региона России. На основе проведенной научно-исследовательской работы по обоснованию усовершенствования кормовой базы животноводства Новгородской области рассчитана необходимая площадь в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера для возделывания кормовых культур, которая обеспечит максимальный выход питательных веществ с единицы площади при минимальных затратах труда, денежно-материальных средств и наименьшей потребности в кормоуборочной технике. Основой для проектирования сырьевого конвейера и расчета структуры посевных площадей является определение потребности в кормах всего стада сельскохозяйственных животных с учетом их продуктивности и физиологического состояния. Проведенный анализ рациона кормления крупного рогатого скота в большинстве хозяйств Новгородской области показал существенное завышение доли концентрированных кормов по сравнению с нормативными данными. Поэтому для совершенствования рациона кормления сельскохозяйственных животных и повышения эффективности использования кормов рекомендуется снизить долю концентратов до 30% при кормлении молочных коров, нетелей и молодняка старше 1 года. В рационе кормления молодняка до 1 года на долю концентрированных кормов должно приходиться не более 20% по питательности. Для обеспечения непрерывности заготовки кормов в сырьевой конвейер необходимо включить различные по скороспелости и темпам роста кормовые культуры. Основу сырьевого конвейера должны составлять бобово-злаковые луговые травостои, различающиеся по скороспелости: раннеспелые, среднеспелые и позднеспелые.

Ключевые слова: кормовая база, посевная площадь, питательность кормов, сырьевой конвейер, ресурсосбережение

Цитирование. Бевз С.Я., Тошкина Е.А. Структура посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 122–130. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-122-130

STRUCTURE OF SOWING AREA IN THE SYSTEM OF RESOURCE-SAVING RAW MATERIAL CONVEYOR

Svetlana Ya. Bevz¹, Elena A. Toshkina²

¹Yaroslav the Wise Novgorod State University, 41 Bolshaya St. Petersburg Street, Veliky Novgorod, 173003, Russia, Svetlana.Bevz@novsu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3528-1055>

²Yaroslav the Wise Novgorod State University, 41 Bolshaya St. Petersburg Street, Veliky Novgorod, 173003, Russia, Elena.Toshkina@novsu.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7166-227X>

Abstract. On the territory of the North-West region of Russia, there is a large number of natural fodder lands. Agricultural organizations can make the most effective use of fodder areas in the system of a resource-saving raw material conveyor. The purpose of the research was the scientific substantiation of the necessary structure of acreage under forage crops in the system of resource-saving raw material conveyor to improve the feed base of livestock breeding in the Novgorod region of the North-West region of Russia. Based on the research work carried out to substantiate the improvement of the livestock feed base of the Novgorod region, the necessary area in the system of a resource-saving raw material conveyor for the cultivation of forage crops has been calculated, which will ensure the maximum yield of nutrients per unit area with minimal labor, monetary and material resources and the least need for forage harvesting equipment. The basis for the design of the raw material conveyor and the calculation of the structure of the acreage is the calculation of the feed needs of the entire herd of farm animals, taking into account their productivity and physiological state. The analysis of the feeding ration of cattle in most farms of the Novgorod region showed a significant overestimation of the proportion of concentrated feed compared with the normative data. Therefore, in order to improve the diet of feeding farm animals and increase the efficiency of feed use, it is recommended to reduce the proportion of concentrates to 30% when feeding dairy cows, heifers and young animals older than 1 year. In the diet of feeding young animals up to 1 year, the share of concentrated feed should account for no more than 20% in nutritional value. To ensure the continuity of forage harvesting, feed crops of different maturity and growth rates must be included in the raw material conveyor. The basis of the raw material conveyor should be legume-cereal meadow grass stands, differing in maturity: early ripening, mid-ripening and late ripening.

Keywords: *feed base, acreage, feed nutrition, raw material conveyor, resource conservation*

Citation. Bevz, S.Y., Toshkina, E.A., (2022), "Structure of sowing area in the system of resource-saving raw material conveyor", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 122–130. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-122-130.

Введение. Важной отраслью российской экономики является молочное скотоводство, которое вносит значительный вклад в продовольственную безопасность страны, в том числе в Северо-Западном регионе России [1– 4].

Развитие животноводства – одно из приоритетных направлений реализации Государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции сырья и продовольствия на 2013–2025 годы». Важной задачей программы является создание прочной кормовой базы для животноводства [5; 6].

Для реализации государственной программы Новгородской области «Развитие сельского хозяйства в Новгородской области на 2019–2024 годы» в ведущих сельскохозяйственных организациях с 2018 г. были проведены научно-исследовательские работы по обоснованию усовершенствования кормовой базы животноводства хозяйств на основе разработки ресурсосберегающего сырьевого конвейера.

Рациональное использование площадей хозяйств, занятых под кормовыми культурами, способствует повышению уровня организации и эффективности производства молока [7–10].

Северо-Западный регион России, в том числе Новгородская область, располагает большим количеством естественных сенокосов и пастбищ. Однако производство объемистых кормов в регионе обеспечивается в основном за счет пахотных земель. Поэтому наиболее эффективное использование кормовых площадей сельскохозяйственные организации могут осуществить в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера. Такая система обеспечит наибольший выход с единицы площади питательных веществ при наименьших затратах труда, денежно-материальных средств и минимальных потребностях в кормоуборочной технике [11; 12].

Цель исследования – научное обоснование рациональной структуры посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера для возделывания кормовых культур, направленное на усовершенствование кормовой базы животноводства Новгородской области Северо-Западного региона России.

Материал, методы и объекты исследований. В качестве исходной информации послужила отчетность ведущих сельскохозяйственных предприятий Новгородской области за 2018–2022 гг., данные опытных наблюдений и учетов, статистической отчетности, а также данные результатов испытаний качества кормов.

Результаты исследований. Основой для проектирования сырьевого конвейера и расчета кормопроизводящей площади является расчет потребности в кормах всего стада сельскохозяйственных животных с учетом их продуктивности и физиологического состояния.

В ряде крупных хозяйств Новгородской области были проведены научно-исследовательские работы по обоснованию усовершенствования кормовой базы животноводства на основе разработки ресурсосберегающего сырьевого конвейера. Так, в колхозе «Россия» СПК Новгородской области при наличии 900 голов коров со среднегодовым удоем 6000 кг молока от одной фуражной коровы, нетелей – 305 голов, молодняка старше 3 месяцев – 319 голов необходимое годовое количество кормовых единиц составило 6164,8, перевариваемого протеина – 678 т.

При определении потребности сельскохозяйственных животных в различных видах кормов большое значение имеет структура рациона. Корма эффективно используются при следующем рационе:

- концентрированные корма – 30%;
- грубые – 20%;
- сочные корма – 50% от питательности кормов.

Проведенный анализ рациона кормления крупного рогатого скота в большинстве хозяйств Новгородской области показал существенное завышение доли концентрированных кормов, по сравнению с нормативными данными. Поэтому для совершенствования рациона кормления сельскохозяйственных животных и повышения эффективности использования кормов рекомендуется снизить долю концентратов до 30% при кормлении молочных коров, нетелей и молодняка старше 1 года. В рационе кормления молодняка до 1 года на долю концентрированных кормов должно приходиться не более 20% по питательности (рис. 1).

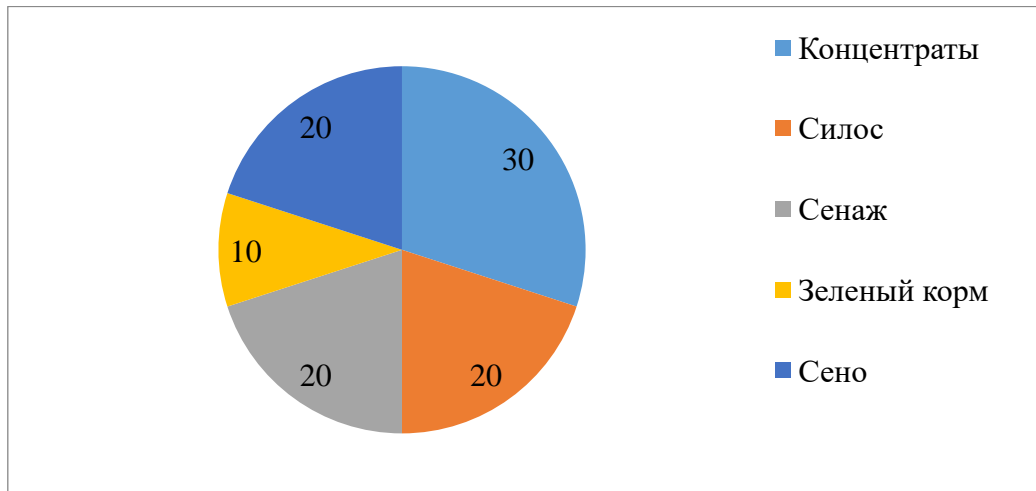


Рисунок 1. Рекомендуемый рацион кормления молочных коров, %
Figure 1. Recommended feeding ration for dairy cows, %

В соответствии с принятым рационом кормления для всего стада необходимо заготовить более 1800 корм. ед. концентрированных кормов, более 2400 корм. ед. сочных кормов, 1165 тыс. корм. ед. грубого корма и 721 тыс. корм. ед. зеленого корма (табл. 1).

Таблица 1. Распределение основных видов кормов по рациону, т корм. ед.
Table 1. Distribution of the main types of feed by diet, t feed. units.

Вид животных	Показатели	Всего, т	Виды кормов				
			концентраты	силос	сенаж	сено	зеленые корма
Коровы	Корм. ед.	4809,2	1442,8	961,8	961,8	961,8	480,9
	%	100	30	20	20	20	10
Нетели	Корм. ед.	870,7	261,2	217,7	113,2	130,6	148,0
	%	100	30	25	15	15	17
Бычки и телки старше 3 мес.	Корм. ед.	484,9	121,2	121,2	77,6	72,7	92,1
	%	100	25	25	16	15	19
Всего		6164,8	1825,2	1300,7	1152,6	1165,1	721,0

Потребность в натуральном корме с учетом страхового фонда (15%) составит: около 2100 т концентратов, более 11500 т сочных кормов, 2850 т сена и 5182 т зеленого корма (рис. 2).

При этом питательность 1 кг концентрированных кормов не должна быть ниже 1,0 кормовой единицы, силоса – не ниже 0,23 корм. ед., сенажа – не ниже 0,26 корм. ед., сена – не ниже 0,47 корм. ед. и зеленого корма – не ниже 0,16 корм. ед.

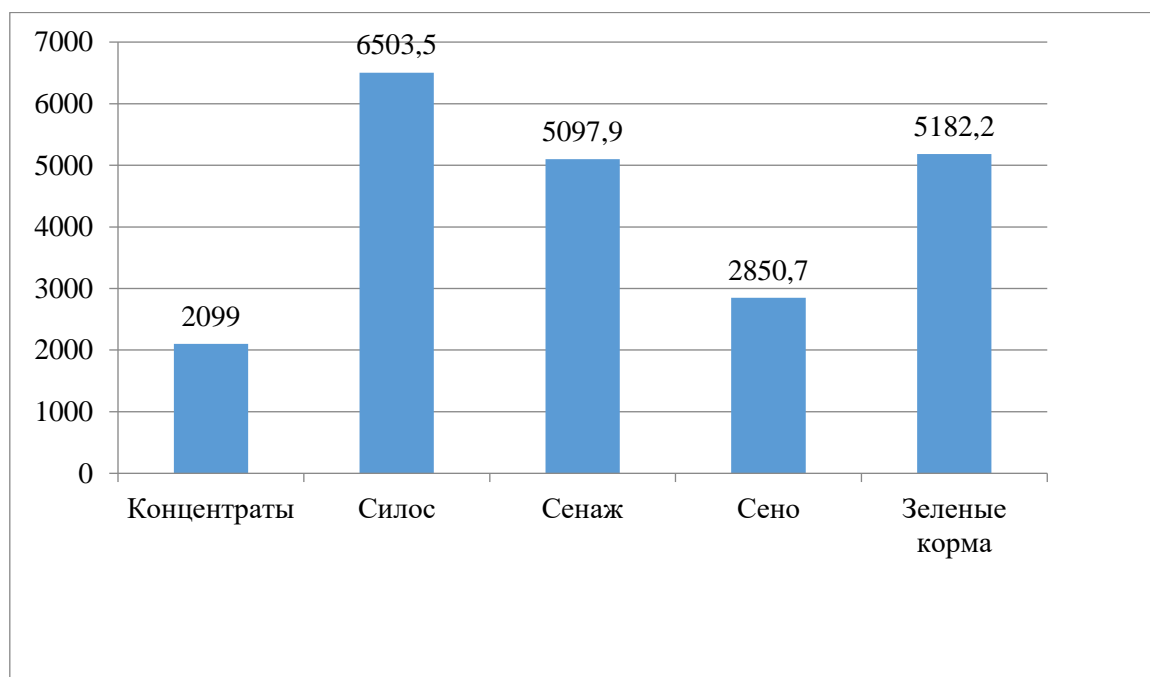


Рисунок 2. Годовая потребность в кормах с учетом страхового фонда, натуральная масса, т
Figure 2. Annual need for feed, taking into account the insurance fund, natural weight, t

Для обеспечения непрерывности заготовки кормов в сырьевом конвейере используют различные кормовые культуры, различающиеся по скороспелости и темпам роста. В условиях Новгородской области в большом объеме выращивают следующие кормовые культуры: овес, ячмень, тритикале озимый, вико-овсяную смесь, суданскую траву, злаковые и бобовые многолетние травы [13].

Анализ качества кормов, заготовленных в регионе, показал, что зачастую корма относятся к 3-му классу или являются неклассными. Основными причинами низкого качества кормов являются низкое содержание протеина и высокое содержание клетчатки. С целью повышения качества кормов в хозяйстве необходимо, в первую очередь, отрегулировать сроки их скашивания и усовершенствовать технологию приготовления кормов.

Наиболее качественные корма с содержанием в 1 кг сухого вещества более 8,5 МДж обменной энергии при содержании в 1 ЭКЕ 116 и более г сырого протеина можно заготовить с клеверо-злаковых луговых и однолетних травостоев, вико-овсяной смеси, суданской травы. Такие корма могут полностью удовлетворить потребность сельскохозяйственных животных в обменной энергии и протеине.

Таким образом, оценка качества кормов, заготавливаемых в хозяйствах Новгородской области, показала целесообразность включения в сырьевой конвейер вико-овсяной смеси для заготовки силоса, зерносенажа и зеленого корма. Для обеспечения бесперебойного поступления зеленого корма в условиях региона можно провести двухкратные посевы данной смеси. Основу сырьевого конвейера должны составлять бобово-злаковые агрофитоценозы, как источник самых дешевых качественных кормов. С данных сенокосов можно заготавливать сенаж, сено и зеленую массу.

Использование высокопродуктивных кормовых культур в системе сырьевого конвейера позволит полностью обеспечить сельскохозяйственных животных всеми питательными веществами, в том числе белком.

Для внедрения в производство ресурсосберегающего сырьевого конвейера в хозяйствах должна быть рациональная структура посевных площадей для возделывания кормовых культур. Исходя из потребности животных в растительном сырье и урожайности культур, выращиваемых для получения корма, рассчитывается необходимая площадь кормовых угодий в системе сырьевого конвейера. Для полного обеспечения собственными кормами всех

половозрастных групп животных в системе сырьевого конвейера необходимо 3566,5 га сельскохозяйственных угодий (рис. 3).

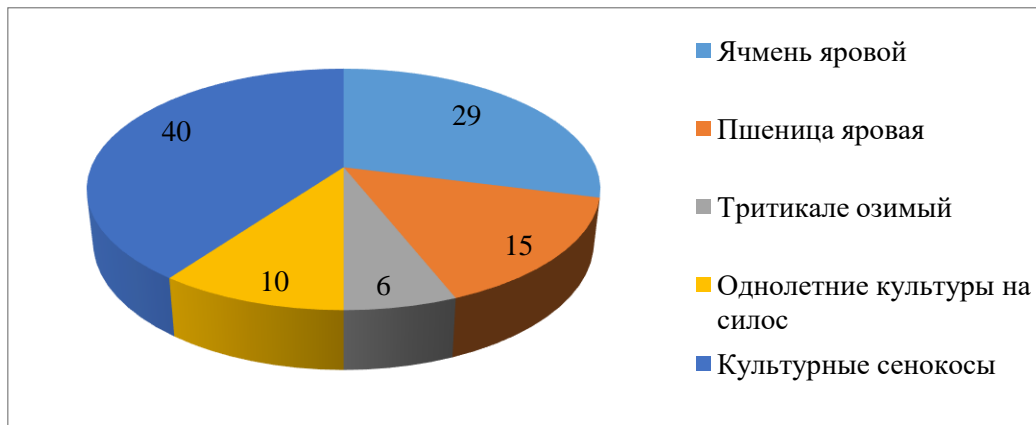


Рисунок 3. Структура посевных площадей под кормовыми культурами в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера

Figure 3. Structure of acreage under forage crops in the system of resource-saving raw material conveyor

Из сельскохозяйственных угодий на зерновые культуры для производства концентрированных кормов необходимо выделить половину площадей, на посевы однолетних культур для производства силоса (вико-овсяная смесь, суданская трава, райграс однолетний, кукуруза на силос) – около 10%, на культурные сенокосы для приготовления сенажа, сена и зеленого корма – 40% от всех посевных площадей хозяйства. Рациональная структура посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера позволит хозяйствам полностью обеспечить сельскохозяйственных животных необходимым количеством высококачественных кормов.

Выводы. Наиболее эффективное использование кормовых площадей сельскохозяйственные организации Северо-Западного региона России могут осуществить в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера, что полностью обеспечит сельскохозяйственных животных всеми питательными веществами, в том числе белком. Организация данной системы приведет к максимальному выходу питательных веществ с единицы площади при наименьших затратах труда, денежно-материальных средств и минимальной потребности в кормоуборочной технике.

Основу сырьевого конвейера должны составлять бобово-злаковые луговые травостой. Для осуществления бесперебойного поступления кормовой массы рекомендуется использовать в системе сырьевого конвейера луговые травостой, отличающиеся по скороспелости:

- раннеспелый травостой с ежой сборной, фестулолиумом и козлятником восточным;
- среднеспелый с овсяницей луговой, кострцом безостым и клевером луговым;
- позднеспелый с тимофеевкой луговой, кострцом безостым и клевером луговым.

На долю раннеспелых травостоев должно приходиться около 20% от всех площадей под многолетними травами, на среднеспелые – 30%, на позднеспелые – около 50% от данных площадей. В отдельные сроки летнего периода для восполнения недостатка корма необходимо использовать однолетние кормовые культуры: вико-овсяную смесь нескольких сроков посева; суданскую траву.

Список источников литературы

1. Кормопроизводство, рациональное природопользование и агроэкология / В.М. Косолапов, И.А. Трофимов, Г.Н. Бычков и др. // Кормопроизводство. – 2016. – № 8. – С. 3–8.

2. Синицына, С.М. Перспективы развития кормопроизводства на Северо-Западе России / С.М. Синицына, А.М. Спиридонов, Т.А. Данилова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 52. – С. 189–197.
3. Козина, А.М. Влияние организации полноценного кормления на воспроизводительные качества животных / А.М. Козина, М.В. Семкив, Л.П. Семкив // Современные подходы к развитию агропромышленного, химического и лесного комплексов. Проблемы, тенденции, перспективы: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Великий Новгород, 17 марта 2021 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2021. – С. 54–59.
4. Бевз, С.Я. Адаптивные системы кормопроизводства в молочном скотоводстве / С.Я. Бевз // Современные ресурсосберегающие технологии производства молока: от теории к практике: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Великий Новгород, 07–08 ноября 2018 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2018. – С. 94–98.
5. Kozina, A.M. Sustainable development of dairy farming through the use of digital technologies / A.M. Kozina, L.P. Semkiv // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management". – 2020. – P. 012061.
6. Семкив, Л.П. Основные направления развития молочного скотоводства в условиях цифровизации / Л.П. Семкив, А.М. Козина, М.В. Семкив // Современные подходы к развитию агропромышленного, химического и лесного комплексов. Проблемы, тенденции, перспективы: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Великий Новгород, 17 марта 2021 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2021. – С. 120–125.
7. Роль многолетних трав в создании устойчивой кормовой базы при конвейерном использовании / Е.Н. Павлючик, А.Д. Капсамун, Н.Н. Иванова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 3. – С. 238–246.
8. Косолапов, В.М. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства / В.М. Косолапов, С.В. Пилипко, С.И. Костенко // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 4. – С. 35–37.
9. Bevz, S.Y. The state and direction of development of forage production in the Novgorod region of the North-West of Russia / S.Y. Bevz, E.A. Toshkina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Veliky Novgorod, 22 октября 2020 года. – Veliky Novgorod, 2020. – P. 012015. – DOI 10.1088/1755-1315/613/1/012015.
10. Карпович, А.М. Совершенствование системы формирования годового сырьевого конвейера для крупного рогатого скота на сельскохозяйственных предприятиях / А.М. Карпович // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 125–130.
11. Серегин, М.В. Совершенствование сырьевого конвейера при заготовке травянистых кормов / М. В. Серегин // Центральный научный вестник. – 2019. – Т. 4. – № 2(67). – С. 27–28.
12. Лукашов, В.Н. Использование однолетних бобово-злаковых зерносмесей в сырьевом конвейере на серых лесных почвах Калужской области / В.Н. Лукашов, Т.Н. Короткова, А.Н. Исаков // Аграрная наука и развитие отраслей сельского хозяйства региона : сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 100-летию института, с. Калужская, 09 апреля 2020 года. – Калуга: Калужский НИИСХ – филиал «ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха», 2020. – С. 138–143.
13. Перспективы расширения посевов зернобобовых культур в агроклиматических районах Новгородской области / Е.А. Тошкина, С.Я. Бевз, К.А. Амбарцумова, Н.А. Филиппова // Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Великий Новгород, 28–29 ноября 2019 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2020. – С. 163–167.

References

1. Kosolapov, V.M., Trofimov, I.A., Bychkov, G.N. et al. (2016), Forage production, rational nature management and agroecology, *Forage production*, no.8, pp. 3–8. (In Russian)

2. Sinitsyna, S.M., Spiridonov, A.M., Danilova, T.A. (2018), Prospects for the development of feed production in the North-West of Russia, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 2, no. 52, pp. 189–197. (In Russian)
3. Kozina, A.M., Semkiv, L.P., Semkiv, M.V. (2021), Vliyanie organizatsii polnocennogo kormleniya na vosproizvoditel'nye kachestva zhiivotnyh [The influence of the organization of full-fledged feeding on the reproductive qualities of animals], *Modern approaches to the development of agro-industrial, chemical and forestry complexes, Problems, trends, prospects: Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Veliky Novgorod, March 17, 2021*, Veliky Novgorod, Yaroslav the Wise Novgorod State University, pp. 54–59. (In Russian)
4. Bevz, S.Ya. (2018), Adaptivnye sistemy kormoproizvodstva v molochnom skotovodstve [Adaptive systems of feed production in dairy cattle breeding], *Modern resource-saving technologies of milk production: from theory to practice, Materials of the All-Russian scientific and Practical conference, Veliky Novgorod, November 7–8, 2018*, Veliky Novgorod, Yaroslav the Wise Novgorod State University, pp. 94–98. (In Russian)
5. Kozina, A.M., Semkiv, L.P.(2020), Sustainable development of dairy farming through the use of digital technologies, *IOP Conference Series, Earth and Environmental Science, Ser. "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management"*, p. 012061.
6. Semkiv, L.P., Kozina, A.M., Semkiv, M.V. (2021), Osnovnye napravleniya razvitiya molochnogo skotovodstva v usloviyah cifrovizatsii [The main directions of dairy cattle breeding development in the conditions of digitalization], *Modern approaches to the development of agro-industrial, chemical and forestry complexes. Problems, trends, prospects : Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Veliky Novgorod, March 17, 2021*, Veliky Novgorod, Yaroslav the Wise Novgorod State University, pp. 120–125. (In Russian)
7. Pavlyuchik, E.N., Kapsamun, A.D., Ivanova, N.N., etc.(2019), The role of perennial grasses in the creation of a stable fodder base for conveyor use, *Agrarian science of the Euro-North-East.*, vol. 20, no. 3, pp. 238–246. (In Russian)
8. Kosolapov, V. M, Pilipko, S. V., Kostenko, S. I. (2015), New varieties of fodder crops – the key to the successful development of feed production, *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, vol. 29, no. 4, pp. 35–37. (In Russian)
9. Bevz, S. Y. and Toshkina, E. A. (2020), The state and direction of development of forage production in the Novgorod region of the North-West of Russia, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 IOP Conf., Ser.: Earth Environ, Sci.* 613 012015.
10. Karpovich, A.M.(2018), Improvement of the system of formation of the annual raw material conveyor for cattle at agricultural enterprises, *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, no. 5, pp. 125–130. (In Russian)
11. Seregin, M. V. (2019), Improvement of the raw material conveyor when harvesting herbaceous feed, *Central Scientific Bulletin*, vol. 4, no. 2(67), pp. 27–28. (In Russian)
12. Lukashov, V. N. (2020), Ispol'zovanie odnoletnih bobovo-zlakovykh zernosmesej v syr'evom konvejere na seryh lesnyh pochvah Kaluzhskoj oblasti [The use of annual legume-cereal grain mixtures in the raw material conveyor on gray forest soils of the Kaluga region], *Agrarian science and the development of agricultural industries in the region: A collection of scientific papers based on the materials of a scientific and practical conference with international participation, timed to 100th anniversary of the Institute, Kaluga village, April 09, 2020*, Kaluga, Kaluga Research Institute – branch of "FITZ potato named after A. G. Lorch", pp. 138–143. (In Russian)
13. Toshkina, E. A., Bevz, S. Ya., Ambartsumova, K. A., Filippova, N. A. (2020), Perspektivy rasshireniya posevov zernobobovykh kul'tur v agroklimaticheskikh rajonah Novgorodskoj oblasti [Prospects for the expansion of leguminous crops in agro-climatic areas of the Novgorod region], *Modern trends in scientific and personnel support of the agro-industrial complex, Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation, Veliky Novgorod, November 28–29, 2019*, Veliky Novgorod, Yaroslav the Wise Novgorod State University, pp. 163–167. (In Russian)

Сведения об авторах

Бевз Светлана Яковлевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», spin-код: 2655-5728, Scopus author ID: 57214684860, Researcher ID: AAL-8039-2021

Тошкина Елена Андреевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», spin-код: 1368-5452, Scopus author ID: 57214670169, Researcher ID: AAL-8071-2021.

Information about the authors

Svetlana Ya. Bevz – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Docent of the Department of Technology of Production and processing of agricultural products IBHI, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav the Wise Novgorod State University", spin-код: 2655-5728, Scopus author ID: 57214684860, Researcher ID: AAL-8039-2021

Elena A. Toshkina – Doctor of Agricultural Sciences, professor, Professor of the Department of Technology of Production and processing of agricultural products IBHI, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav the Wise Novgorod State University", spin-код: 1368-5452, Scopus author ID: 57214670169, Researcher ID: AAL-8071-2021.

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 31.10.2022; одобрена после рецензирования 14.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 636.92

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-131-138

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБИОМА РУБЦА КОРОВ МЕТОДОМ NGS-СЕКВЕНИРОВАНИЯ

Башир Хайрулламин¹, Виталий Юрьевич Морозов², Сергей Павлович Скляр³

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; khairullaminbashir22@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1275-215X>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; supermoroz@mail.ru; <http://orcid.org/0000-000-3688-1546>

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ssklyar@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-6417-5858>

Реферат. Микробиом жвачных животных давно рассматривается как отдельный «орган», который выполняет множество важных функций. На состав микробиома позитивно влияет введение в рацион пробиотических добавок. Актуально изучение состава популяций микроорганизмов на основе секвенирования генов 16S рРНК. Целью исследования было изучение с применением NGS-секвенирования состава микробиоценоза рубца лактирующих коров на фоне использования пробиотика Целлобактерин+. Задачи исследования включали выделение ДНК из тестируемых образцов с использованием набора для очистки геномной ДНК ("Fermentas, Inc.", Литва) в соответствии с прилагаемыми инструкциями, а также проведение сравнительного анализа микрофлоры у коров опытной и контрольной групп с применением NGS-секвенирования и прибора MiSeq («Illumina, Inc.», США). В результате проведения анализа в образцах было выявлено до 530 видов микроорганизмов. Наибольшее суммарное количество полезных вейлионелл, синтезирующих летучие жирные кислоты, детектировалось в рубце коров опытной группы после применения пробиотика Целлобактерин+ (21,1%). У коров опытной группы наблюдалось также наименьшее содержание актиномицетов (не более 0,04%), которые являются нежелательными микроорганизмами. Таким образом, в группе коров, получавших пробиотик Целлобактерин+, по сравнению с контрольной группой до пробиотика было выявлено высокое количество «полезных» микроорганизмов и низкое содержание нежелательных бактерий.

Ключевые слова: Целлобактерин+, NGS-секвенирование, молекулярная генетика, рубцовые бактерии и микрофлора, жирные кислоты, микроорганизмы, пробиотик

Цитирование. Хайрулламин Б., Морозов В.Ю., Скляр С.П. Изучение микробиома рубца коров методом NGS-секвенирования // Известия Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – 2022. – № 4 (69). – С. 131–138. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-131-138.

STUDY OF THE RUMEN MICROBIOME OF COWS BY NGS SEQUENCING

Bashir Khairullamin¹, Vitaliy Yu. Morozov², Sergey P. Sklyarov³

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye Shosse, house 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; khairullaminbashir22@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1275-215X>

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye Shosse, house 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; supermoroz@mail.ru; <http://orcid.org/0000-000-3688-1546>

³Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye Shosse, house 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; ssklyar@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-6417-5858>

Abstract. The ruminant microbiome has long been regarded as a separate "organ" that performs many important functions. The microbiome composition is positively influenced by the introduction of probiotic supplements into the diet. It is relevant to study the composition of microbial populations based on 16S rRNA gene sequencing. The aim of the research was to study the composition of the rumen microbiocenosis of lactating cows against the background of Celobacterin+ probiotic using NGS sequencing. The objectives of the study included DNA extraction from test samples using a genomic DNA purification kit (Fermentas, Inc., Lithuania) in accordance with the attached instructions, as well as a comparative analysis of the microflora in cows of the experimental and control groups using NGS sequencing and the device MiSeq (Illumina, Inc., USA). As a result of the analysis, up to 530 types of microorganisms were identified in the samples. The largest total amount of useful veillionella synthesizing volatile fatty acids was detected in the rumen of cows of the experimental group after the application of the probiotic Cellobacterin+ (21.1%). The cows of the experimental group also had the lowest content of actinomycetes (not more than 0.04%), which are undesirable microorganisms. Thus, in the group of cows treated with the Cellobacterin+ probiotic, compared with the control group before the probiotic, a high number of "beneficial" microorganisms and a low content of undesirable bacteria were revealed.

Keywords: *Cellobacterin+*, *NGS sequencing*, *molecular genetics*, *rumen bacteria and microflora*, *fatty acids*, *microorganisms*, *probiotic*

Citation. Khairullamin, B., Morozov, V.Y., Sklyarov, S.P. (2022), "Study of the rumen microbiome of cows by NGS sequencing", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 131–138. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-131-138.

Введение. Жвачные животные – одна из самых интересных групп травоядных млекопитающих на планете, имеющих преджелудок – рубец, где корм разлагается до того, как он попадает в «истинный» желудок и остальную пищеварительную систему. Рубец обеспечивает среду для разнообразных анаэробных микробов. Эти микробы вырабатывают ферменты, которые необходимы для расщепления сложных молекул, в первую очередь растительных полисахаридов [1]. Разложение волокон, богатых целлюлозой, включает в себя предварительные симбиотические отношения в микробиоте [2]. Гидролиз лигноцеллюлозы часто ограничивает кинетику и эффективность образования метаболитов. Микробиом рубца – это хорошо изученная экосистема, которая способна использовать растительный материал в неорганизованной пищевой цепи [3]. На первом этапе простейшие, грибы и бактерии осуществляют гидролиз полимеров, таких как целлюлоза и другие сложные углеводы, белки и липиды. Мировые знания в области микробиологии рубца были накоплены благодаря использованию методов, основанных на культивировании. Исследования изолированных культур позволили получить базовое представление о биохимии выделенных штаммов [4]. К сожалению, большинство микробных штаммов в сложных средах обитания не могут быть культивированы в чистых культурах, поэтому эти подходы малополезны, когда целью является прояснение взаимоотношений между членами сообщества. В настоящее время для

исследования этих сообществ также используются молекулярно-генетические, метагеномные подходы, такие как секвенирование на платформе Illumina [5; 6].

Цель исследования – анализ структуры бактериального сообщества в рубцовом содержимом коров различных групп (до и после использования пробиотика) с применением молекулярно-генетического метода NGS-секвенирования.

Материалы, методы и объекты исследования. Эксперимент по скармливанию пробиотика Целлобактерин+ проводили на новотельных коровах черно-пестрой голштинизированной породы 2–3-й лактации (табл. 1). Через 2 месяца после начала эксперимента у коров в период раздоя с соблюдением условий асептики были отобраны пробы для анализа микробных сообществ рубцового содержимого. Целлобактерин+ является пробиотиком на основе полезных бактерий (ООО «БИОТРОФ», Россия). Было сформировано 2 группы: контрольная – до применения пробиотика Целлобактерин+ и опытная – через 2 месяца после применения пробиотика Целлобактерин+.

Таблица 1. Схема опыта
 Table 1. Chart of experiment

№ п/п животных	Наименование групп	Вариант опыта
1	Контрольная	До применения пробиотика Целлобактерин+
2		
3		
4		
5	Опытная	Через 2 месяца после применения пробиотика Целлобактерин+
6		
7		
8		

Тотальную ДНК из исследуемых образцов выделяли с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («Fermentas, Inc.», Литва) согласно прилагаемой инструкции.

Состав бактериального сообщества рубца анализировали методом NGS-секвенирования на платформе MiSeq («Illumina, Inc.», США) с праймерами для V3–V4 региона гена 16S рРНК: прямой праймер — 5'-TCGTC-GGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTACGGGNGGCWGCAG-3', обратный — 5'-GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGGA-CTACHVGGGTATCTAATCC-3'.

Секвенирование проводили с применением следующих реагентов: для приготовления библиотек — Nextera® XT Index Kit («Illumina, Inc.», США), для очистки ПЦР-продуктов — Agencourt AMPure XP («Beckman Coulter, Inc.», США), для секвенирования — MiSeq® ReagentKit v2 (500 cycle) («Illumina, Inc.», США). Максимальная длина полученных последовательностей составила 2½250 п. н.

Результаты исследования. При помощи анализа методом NGS-секвенирования в образцах было обнаружено в зависимости от пробы до 530 видов микроорганизмов. Среди них были выявлены представители нормальной микрофлоры, условно-патогенной и патогенной микрофлоры, а также представители некультивируемой микрофлоры, роль которых еще не изучена, и транзитной микрофлоры, не играющей существенной роли в жизнедеятельности животного.

Как видно из рис. 1, целлюлозолитические бактерии в рубцовом содержимом исследованных коров обеих групп в основном были представлены семействами бактерий: *Clostridiaceae*, *Prevotellaceae*, *Eubacteriaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Thermoanaerobacteraceae*, *Peptostreptococcaceae*, а также порядком *Bacteroidales*. Целлюлозолитические бактерии – это основные доминирующие бактерии рубца коров, расщепляющие клетчатку растительных кормов до летучих жирных кислот [7].

Общая доля целлюлозолитических бактерий была высокая во всех образцах рубцового содержимого и колебалась от 66,08% до 79,87% в зависимости от образца. Самое высокое содержание данных полезных целлюлозолитиков было обнаружено в образце № 8 (корова опытной группы). Всего было обнаружено более 170 видов целлюлозолитических микроорганизмов.

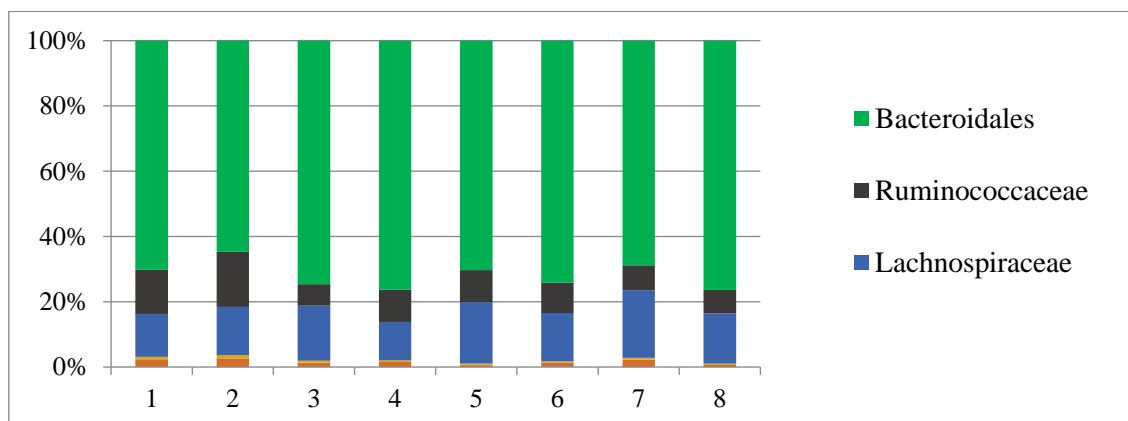


Рисунок 1. Содержание целлюлозолитиков, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+; 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+
Figure 1. The content of cellulolytics, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+; 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+

NGS-анализ образцов показал, что содержание лактат-утилизирующих бактерий в рубце исследованных коров было неоднородно – от 0,99% в пробе № 1 (контрольная группа) до 10,17% в пробе № 7 (опытная группа). Наибольшее суммарное количество данных полезных бактерий наблюдалось в рубцовом содержимом коров, получавших пробиотическую добавку Целлобактерин+ (21,1%). Сумма вейлионелл в группе без пробиотика Целлобактерин+ (контрольной) составила 9,07%, что является низким показателем, и такая концентрация может привести к накоплению молочной кислоты и, как следствие, к ацидозу [8]. Дело в том, что лактат-утилизирующие бактерии ферментируют молочную кислоту, которая образуется бактероидами и молочнокислыми бактериями (а также другие органические кислоты), до летучих жирных кислот, используемых организмом в метаболических процессах (рис. 2).

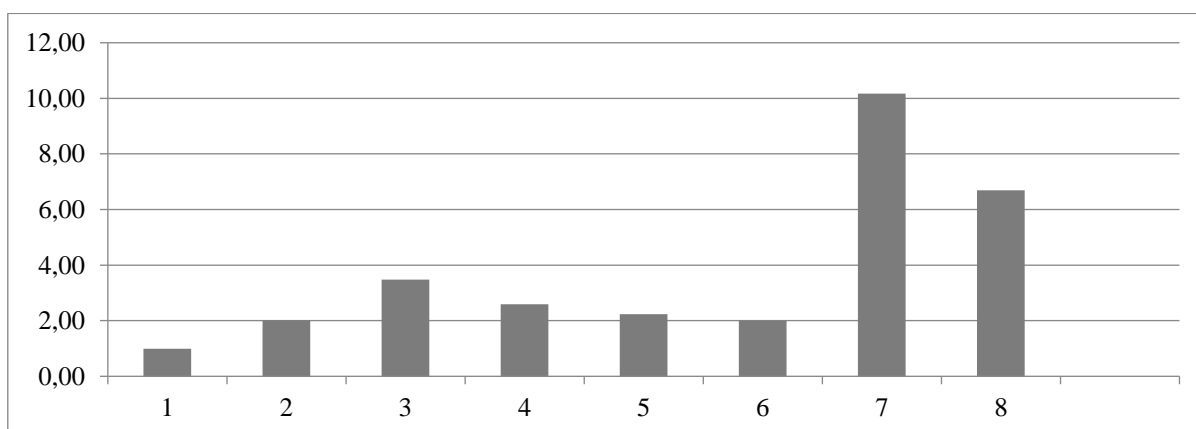


Рисунок 2. Содержание лактат-утилизирующих бактерий, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+ (контроль); 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+ (опыт)

Figure 2. The content of lactate-utilizing bacteria, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+ (control); 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+ (experience)

Доля бифидобактерий в пробах рубцового содержимого коров обеих групп была крайне

мала (от 0 до 0,1%) (рис. 3). Функции бифидобактерий в пищеварительном тракте: антимикробная активность, иммуномодулирующая активность, синтез витаминов, синтез некоторых незаменимых аминокислот [9].

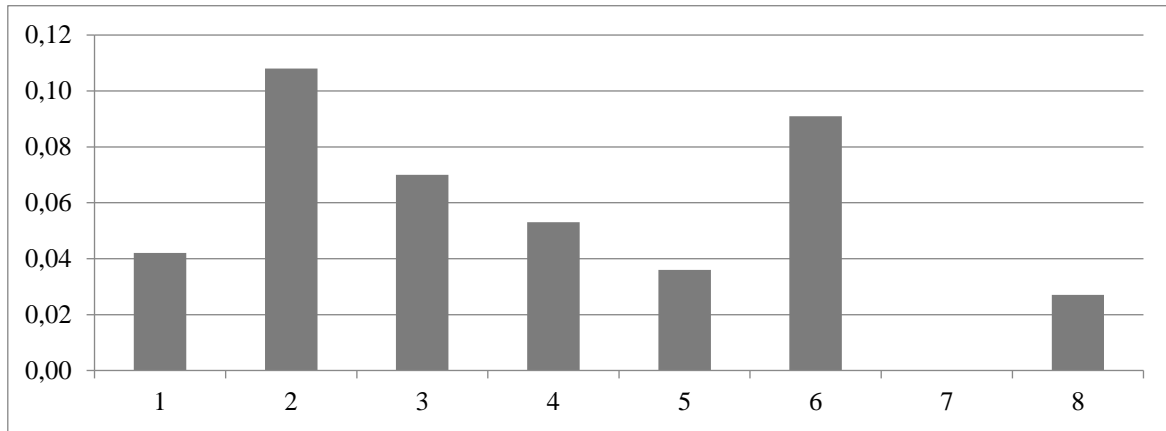


Рисунок 3. Содержание бифидобактерий, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+; 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+
 Figure 3. The content of bifidobacteria, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+; 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+

Семейство *Bacillaceae* представлено несколькими родами. В рубцовой жидкости исследованных коров обеих групп были обнаружены такие представители этого семейства, как *Bacillus sp.*, *Paenibacillus sp.*, *Geobacillus sp.*, *Alcalibacillus sp.*, и др. Функции бацилл в рубце коров: антимикробная активность, иммуномодулирующая активность, протеолитическая активность, ферментативная активность в отношении углеводов кормов [10].

Содержание бацилл в пробах рубцового состава было очень незначительным (рис. 4) и образцы различались между собой по их количеству. Суммарное процентное количество в отдельных пробах рубцового содержимого не превышало 0,49%.

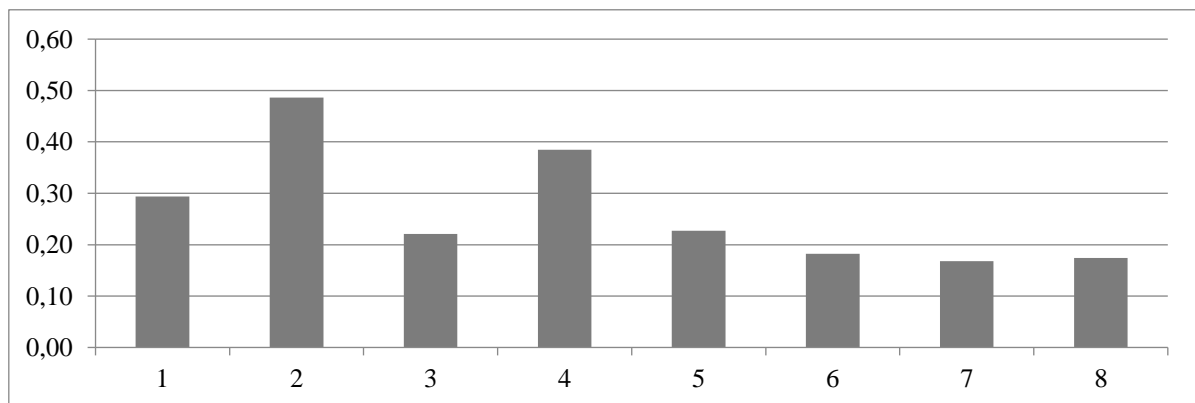


Рисунок 4. Содержание бацилл, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+; 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+
 Figure 4. The content of bacilli, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+; 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+

Подведем итоги исследований нормофлоры в обеих группах: содержание целлюлозолитиков было высокое, однако концентрация отдельных представителей целлюлозолитических микроорганизмов ниже допустимых норм. Средняя концентрация лактат-утилизирующих бактерий была выше в рубцовом содержимом животных после применения Целлобактерина+. Количество бифидобактерий и бацилл было ниже допустимых норм в рубцовой жидкости коров у обеих групп.

В исследованных образцах лактобактерии были представлены в низкой концентрации, в основном порядком *Lactobacilliales*. Суммарная доля лактобацилл в исследованных образцах у коров обеих групп колебалась от 0,24% до 0,52%. Лактобактерии в рубце коров ферментируют моносахара до молочной кислоты и могут приводить к снижению рН в рубце, поэтому являются нежелательными [11].

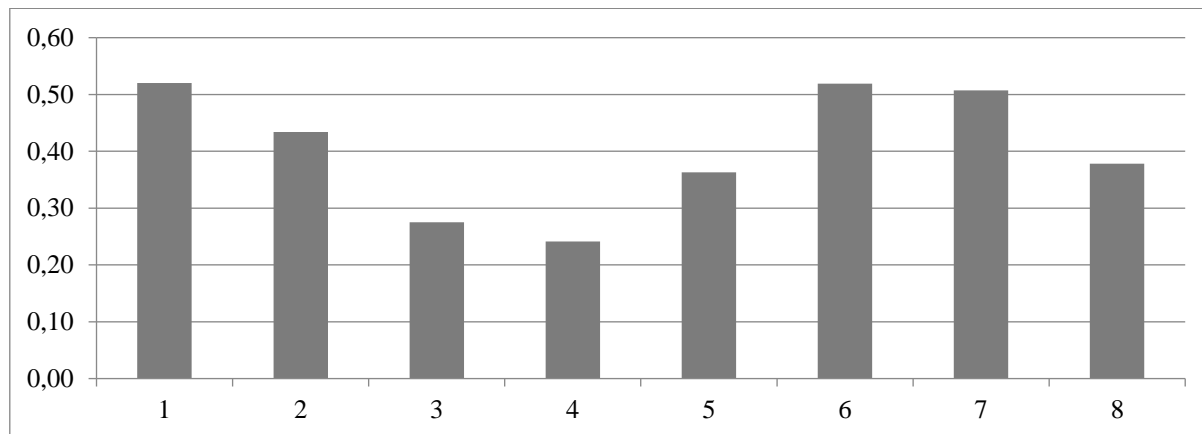


Рисунок 5. Содержание лактобактерий, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+; 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+

Figure 5. *Lactobacilli* content, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+; 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+

Как видно из рис. 5, суммарная доля актиномицетов в образцах рубцового содержимого коров обеих групп колебалась от 0,031% до 0,16% и не превышала допустимые нормы. Наименьшее содержание актиномицетов (не более 0,04%) (рис. 6) наблюдалось в образцах рубцового содержимого после применения пробиотика Целлобактерин+ (опытная группа). Актиномицеты – это нежелательные микроорганизмы рубца коров, поскольку они могут являться возбудителями актиномикозов, резкое возрастание их доли может свидетельствовать о дисбиотических нарушениях [12].

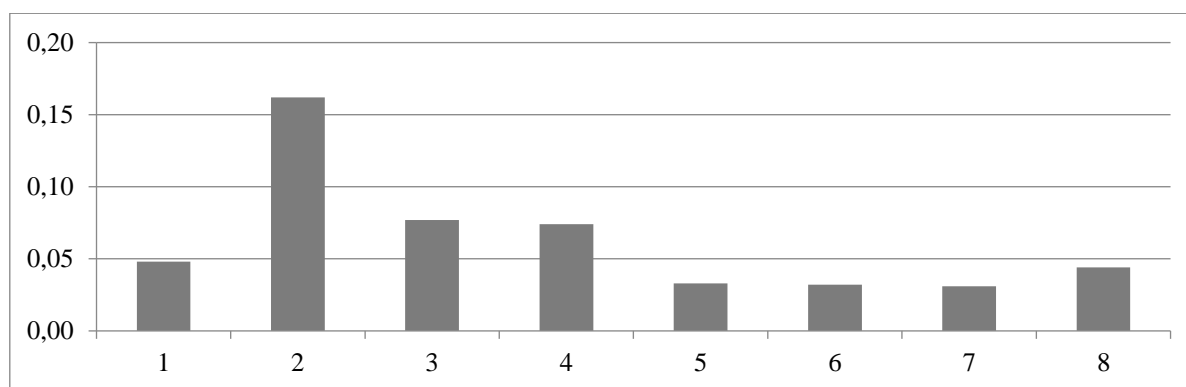


Рисунок 6. Содержание актиномицетов, %: 1–4 – животные до применения пробиотика Целлобактерин+; 5–8 – животные после применения пробиотика Целлобактерин+

Figure 6. The content of actinomycetes, %: 1–4 – animals before the use of the probiotic Cellobacterin+; 5–8 – animals after the use of the probiotic Cellobacterin+

Выводы. По результатам молекулярно-генетических анализов группа коров, получавших Целлобактерин+, показала лучшие результаты в высоком количестве «полезных» микроорганизмов и в меньшей концентрации нежелательных бактерий по отношению к другой группе. Это свидетельствует о восстановлении микробиома под влиянием данной кормовой добавки.

Список источников литературы

1. Goodwin, S. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies / S. Goodwin, J. D. McPherson, and W. R. McCombie // *Nature Reviews Genetics*. – 2016. – № 17. – P. 333–351. – doi: 10.1038/nrg.2016.49.
2. Метабиотики как естественное развитие пробиотической концепции / М.Д. Ардатская, Л.Г. Столярова, Е.В. Архипова, О.Ю. Филимонова // *Трудный пациент*. – 2017. – Т. 15. – № 6–7. – С. 35–39.
3. MEGAN community edition – interactive exploration and analysis of large-scale microbiome sequencing data / D. H. Huson, S. Beier, I. Flade, A. Górská, M. El-Hadidi, S. Mitra, et al. // *PLOS Computational Biology*. – 2016. – № 12(6):e1004957. – doi: 10.1371/journal.pcbi.1004957.
4. A structural and functional elucidation of the rumen microbiome influenced by various diets and microenvironments / S. Deusch, A. Camarinha-Silva, J. Conrad, U. Beifuss, M. Rodehutschord, J. Seifert // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – № 8:1605. – doi: 10.3389/fmicb.2017.01605
5. Ruminal bacterial community composition in dairy cows is dynamic over the course of two lactations and correlates with feed efficiency / K.A., Jewell, C.A. McCormick, C.L. Odt, P.J. Weimer, G. Suen // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2015. – № 81. – P. 4697–4710. – doi: 10.1128/AEM.00720-15.
6. The effect of wheat prebiotics on the gut bacterial population and iron status of iron deficient broiler chickens / E. Tako, R.P. Glahn, M. Knez J.C. Stangoulis // *The Journal of Nutrition*. – 2014. – Vol. 13. – doi: 10.1186/1475-2891-13-58.
7. Антибиотики, пребиотики, пробиотики, метабиотики при избыточном бактериальном росте в тонкой кишке / Э.П. Яковенко, Н.А. Агафонова, А.В. Яковенко, А.Н. Иванов, И.П. Солуянова // *Трудный пациент*. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 16–22.
8. Сравнительное исследование бактериотропного действия метабиотиков / В.А. Несчислаев, Т.В. Фёдорова, Ю.В. Сорокина, Е.И. Молохова, А.С. Савина // *Медицинский совет*. – 2019. – № 21. – С. 154–158.
9. Нормы потребления молочного скота и свиней в питательных веществах / Р.В. Некрасов, А.В. Головин, Е.А. Махаев, А.С. Аникин, Н.Г. Первов, Н.И. Стрекозов, А.Т. Мысик, В.М. Дуборезов, М.Г. Чабаев, Ю.П. Фомичев, И.В. Гусев; под ред. Р.В. Некрасова. – Москва, 2018. – 281 с.
10. InterPro in 2017-beyond protein family and domain annotations / R. D. Finn, T. K. Attwood, P. C. Babbitt, A. Bateman, P. Bork, A. J. Bridge, et al. // *Nucleic Acids Research*. – 2017. – № 45 (D1): D190–D199. – doi: 10.1093/nar/gkw1107

References

1. Goodwin, S., McPherson, J. D., and McCombie, W. R. (2016), Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies, *Nat. Rev. Genet.*, no. 17, pp. 333–351, doi: 10.1038/nrg.2016.49).
2. Ardatskaya, M.D., Stolyarova, L.G., Arkhipova, E.V., Filimonova, O. Yu., (2017), Metabiotics as a natural development of the probiotic concept, *Trudnyy patsiyent*, vol. 15, no. 6-7, pp. 35–39. (In Russian)
3. Huson, D. H., Beier, S., Flade, I., Górská, A., El-Hadidi, M., Mitra, S., et al. (2016), MEGAN community edition – interactive exploration and analysis of large-scale microbiome sequencing data, *PLoS Comput. Biol.*, 12:e1004957, doi: 10.1371/journal.pcbi.1004957.
4. Deusch, S., Camarinha-Silva, A., Conrad, J., Beifuss, U., Rodehutschord, M., and Seifert, J. (2017), A structural and functional elucidation of the rumen microbiome influenced by various diets and microenvironments, *Frontiers in Microbiology*, no. 8:1605, doi: 10.3389/fmicb.2017.01605
5. Jewell, K. A., McCormick, C. A., Odt, C. L., Weimer, P. J., and Suen, G. (2015), Ruminal bacterial community composition in dairy cows is dynamic over the course of two lactations and correlates with feed efficiency, *Appl. Environ. Microbiol.*, no. 81, pp. 4697–4710, doi: 10.1128/AEM.00720-15.
6. Tako E., Glahn R.P., Knez M. and Stangoulis J.C. (2014), The effect of wheat prebiotics on the gut bacterial population and iron status of iron deficient broiler chickens, *Nutr. J.*, vol. 13, doi: 10.1186/1475-2891-13-58.

7. Yakovenko, E.P., Agafonova N.A., Yakovenko A.V., Ivanov A.N., Soluyanov I.P. (2018), Antibiotics, probiotics, prebiotics, metabiotics with excessive bacterial growth in the small intestine, *Trudnyu patsiyent*, vol. 16, no. 4, pp. 16–22. (In Russian)
8. Neschislyayev, V.A., Fedorova T.V., Sorokina Yu.V., Molokhova E.I., Savina A.S. (2019), Comparative study of the bacteriotropic effect of metabiotics, *Meditinskoy sovet*, no. 21, pp. 154–158. (In Russian)
9. Nekrasov R.V., Golovin A.V., Makhayev E.A., Anikin A.S., Pervov N.G., Strekozov N.I., Mysik A.T., Duborezov V.M., Chabayev M.G., Fomichev Yu.P., Gusev I.V. (2018), *Normy potrebleniya molochnogo skota i sviney v pitatelnykh veshchestvakh. molochnyy skot i svini* [Norms of consumption of dairy cattle and pigs in nutrients], Moscow, 281 p. (In Russian)
10. Finn, R. D., Attwood, T. K., Babbitt, P. C., Bateman, A., Bork, P., Bridge, A. J., et al. (2017), InterPro in 2017-beyond protein family and domain annotations, *Nucleic Acids Res.*, no. 45, D190–D199, doi: 10.1093/nar/gkw1107

Сведения об авторах

Хайрулламин Башир – магистрант 2-го курса факультета зооинженерии и биотехнологий, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Морозов Виталий Юрьевич – доктор ветеринарных наук, ректор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 7773-7257.

Скляр Сергей Павлович – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 3529-8440.

Information about the authors

Bashir Khairullamin – 2nd year master's student of the Faculty of Zooengineering and Biotechnology Saint-Petersburg State Agrarian University.

Vitaliy Yu. Morozov – Doctor of Veterinary Sciences, Rector, Saint-Petersburg State Agrarian University, spin-code: 7773-7257.

Sergey P. Sklyarov – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Large Animal Husbandry, Saint-Petersburg State Agrarian University, spin-code: 3529-8440.

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 25.10.2022; одобрена после рецензирования 07.12.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 07.12.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья
УДК 636.15.082.2 (450.51)
doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-139-148

АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛОШАДЕЙ ВЕРХОВЫХ ПОРОД КОННОГО ЗАВОДА «ГЕОРГЕНБУРГ»

Анастасия Викторовна Санганаева¹, Михаил Евгеньевич Тайгунов²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; asyvs@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5529-9949>

²Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, проспект Гагарин, д. 97, Нижний Новгород, 603107, Россия; m.taigunov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4369-7066>

Реферат. Среди верховых пород спортсменами-конниками наиболее широко используются ганноверские, тракененские и голштинские лошади. Конный завод «Георгенбург» Калининградской области производит высококлассных верховых лошадей, отвечающих всем требованиям олимпийских видов конного спорта, используя в воспроизводстве наиболее ценных жеребцов и кобыл. Для отбора лошадей в племенное ядро необходимо ежегодно проводить их оценку по основным хозяйственно-полезным признакам путем бонитировки и испытаний работоспособности, с дальнейшим анализом результатов. В связи с этим цель наших исследований – проанализировать хозяйственно-полезные признаки лошадей верховых пород, разводимых в конном заводе «Георгенбург». Материалом для исследований послужили данные бонитировок, племенных карточек, племенных паспортов лошадей верховых пород, лицензий на племенное использование жеребцов-производителей, используемых в конном заводе «Георгенбург». Общее количество лошадей в исследовании составило 89 голов. В результате исследований установлено, что в конном заводе из 89 голов лошадей 68,5% ганноверской породы, 16,9% – тракененской, 12% – голштинской и по 1% – вестфальской и ольденбургской. Племенные лошади ганноверской и тракененской пород продолжают линии Goldammer, Cor de la Bryere, Alme Z, Ladykiller, Флинга, Дарк Рональда и Пильгера, что говорит об их высоком генетическом потенциале. По промерам и индексам телосложения лошади этих пород имеют выраженный верховый тип. Ганноверы более рослые и ширококостельные по сравнению с тракенами. Имеющиеся недостатки экстерьера не влияют на работоспособность и племенные качества лошадей. Жеребцы-производители конного завода высоко оценены по работоспособности, что позволяет им показывать высокие результаты на соревнованиях и стойко передавать отличные двигательные и прыжковые качества будущему потомству. Всё племенное поголовье конного завода «Георгенбург» – элитное. В случной кампании 2020 г. участвовали 7 жеребцов-производителей и 33 конематки. Процент зажеребляемости составил 81,82 %, благополучной выжеребки – 74,10 %.

Ключевые слова: ганноверская порода, тракененская порода, голштинская порода, вестфальская порода, ольденбургская порода, происхождение, экстерьер, классность, работоспособность, воспроизводительные качества

Цитирование. Санганаева А.В., Тайгунов М.Е. Анализ хозяйственно-полезных признаков лошадей верховых пород конного завода «Георгенбург» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 139–148. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-139-148

ANALYSIS OF ECONOMICALLY USEFUL FEATURES OF RIDING HORSES BREEDS
OF THE STUD FARM "GEORGENBURG"Anastasia V. Sanganaeva¹, Mihail E. Taigunov²¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; asyvs@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5529-9949>²Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russia; m.taigunov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4369-7066>

Abstract. Among the riding breeds, Hanoverian, Trakenen and Holstein horses are most widely used by equestrian athletes. The Georgenburg Stud Farm of the Kaliningrad region produces high-class horses of riding breeds capable of fulfilling all the requirements of Olympic equestrian sports, using the most valuable stallions and mares in reproduction. To identify and select horses in the breeding core, it is necessary to evaluate them annually according to the main economically useful characteristics by means of body conformation and performance tests, with further analysis of the results. In this regard, the purpose of our research is to analyze the economically useful characteristics of horses of riding breeds bred in the Georgenburg stud farm of the Kaliningrad region. The material for the research was the data of bonitations, breeding cards, breeding passports of horses of Hanoverian, Trakenen, Holstein, Westphalian and Oldenburg breeds, licenses for the breeding use of breeding stallions bred in the stud farm "Georgenburg". The total number of horses in the study was 89 heads. As a result of the research, it was found that 68.5% of the 89 heads of horses in the stud farm are Hanoverian, 16.9% are Trakenen, 12% are Holstein, and 1% each are Westphalian and Oldenburg. The breeding horses of the Hanover and Traken breeds used at the Georgenburg stud farm have excellent origins and belong to the lines: Goldammer, Cor de la Bryere, Alme Z, Ladykiller, Fling, Dark Ronald and Pilger, which indicates their high genetic potential. According to measurements and body indices, horses of these breeds have a pronounced riding type. Hanoverians are taller and more broad-bodied compared to Traken. The existing shortcomings of the exterior do not affect the performance of horses and their breeding qualities. Stud breeders of the stud farm are highly appreciated for their performance. They have excellent motor and jumping qualities, which allows them to show high results in competitions and steadfastly transmit working qualities to future offspring. All breeding stock of the Georgenburg stud farm is elite. 7 breeding stallions and 33 stallions participated in the 2020 breeding campaign. The percentage of foalability was 81.82%, successful foaling was 74.10%.

Keywords: *hanoverian breed, trakener breed, holstein breed, origin, exterior, classiness, working capacity, reproductive qualities*

Citation. Sanganaeva, A.V., Taigunov, M. E. (2022), "Analysis of economically useful features of riding horses breeds of the stud farm "Georgenburg", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 139–148. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-139-148

Введение. В настоящее время ганноверская, тракенинская, ольденбургская породы лошадей относятся к наиболее востребованным верховым породам среди спортсменов и любителей конного спорта, ежегодно они занимают первые строчки рейтингов [1–4]. Конный завод «Георгенбург» Калининградской области издавна разводит лошадей тракенинской породы. Приоритетным направлением развития конного завода является спортивное коннозаводство, а целью специалистов завода – производство благородной полукровной верховой лошади, способной к исполнению всех требований олимпийских видов конного спорта – конкура, выездки, троеборья. Лошади «Георгенбурга» успешно выступают не только в России, но и за рубежом.

Главными задачами завода являются выращивание и подготовка высококлассных спортивных лошадей верховых пород.

Хорошо известно, что использование высокоценных лошадей в производящем составе коневодческих предприятий позволит улучшить качество получаемого молодняка [5–7] и, соответственно, конкурентоспособность отечественного коневодства. Для выявления и отбора наиболее ценных лошадей необходимо ежегодно проводить их оценку по основным хозяйственно-полезным признакам путем бонитировки и испытаний работоспособности с дальнейшим анализом результатов [7–8].

Цель исследования – проанализировать хозяйственно-полезные признаки лошадей верховых пород, разводимых в конном заводе «Георгенбург» Калининградской области.

Материалы, методы и объекты исследований. Материалом для исследований послужили данные бонитировок, племенных карточек, племенных паспортов лошадей верховых полукровных пород, лицензий на племенное использование жеребцов-производителей, разводимых в конном заводе «Георгенбург» Калининградской области. Общее количество лошадей в исследовании составило 89 голов.

Анализ происхождения лошадей проводился по родословным племенных карточек и паспортов жеребцов и кобыл, благодаря которым определялась линейная принадлежность. Экстерьер лошадей оценивался по промерам (высота в холке, обхват груди, обхват пясти) и индексам телосложения (широкотелости, костистости). Работоспособность определялась по данным протоколов испытаний жеребцов по двигательным и прыжковым качествам. Классность лошадей оценивалась по бонитировочным данным. Анализ воспроизводительных качеств лошадей осуществлялся на основе сводных ведомостей случек и выжеребки в период с 2018 по 2020 г.

Результаты исследований. На сегодняшний день на конном заводе «Георгенбург» содержится 89 голов лошадей, подавляющее большинство которых лошади ганноверской (68,5% – 61 голова) и тракененской пород (16,9% – 15 голов). 11 лошадей (12%) принадлежат к голштинской породе и по одной голове – к вестфальской и ольденбургской породам (рис. 1).

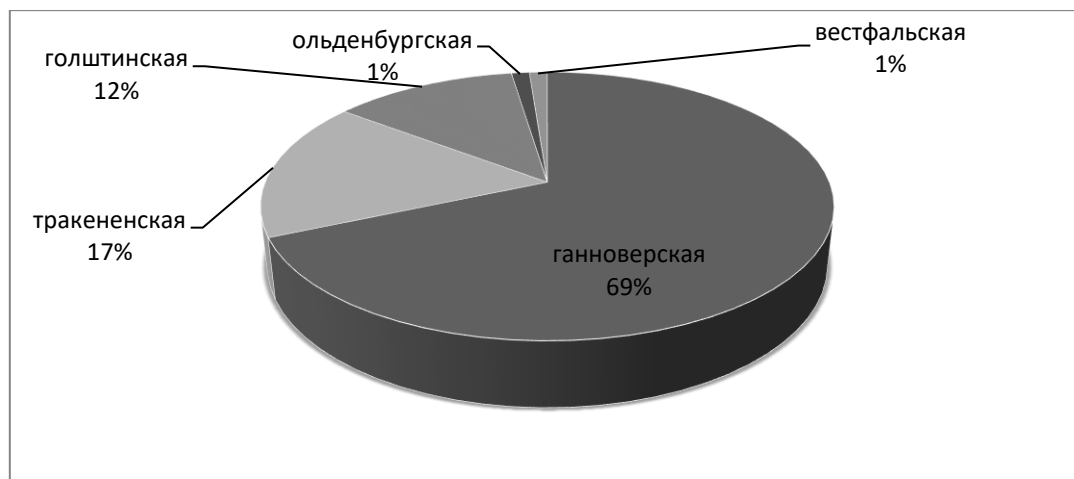


Рисунок 1. Породный состав лошадей конного завода «Георгенбург»
 Figure 1. Breed composition of the horses of the Georgenburg stud farm

В производящий состав конного завода «Георгенбург» входят: три ганноверских жеребца-производителя – Чикаго, Дантандер Хит и Гибсон, голштинские жеребцы – Респект и Хайлендер и вестфальский жеребец Кулано (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение жеребцов-производителей конного завода «Георгенбург»
Table 1. Origin of stud stallions of the Georgenburg stud farm

Показатели		Кличка жеребца-производителя				
		Гибсон	Чикаго	Респект	Хайлендер	Кулано
Год рождения		2009	2007	2006	1996	2008
Масть		Рыжая	Гнедая	Рыжая	Гнедая	Рыжая
Происхождение	Отец	Грандвилли	Chico's Boy	Quidam's Rubin	Landgraf 1	Quidam de Revel
	Мать	Булава 12	351 Артемида 41	483 Панда 12	Atine	Tu Tuut
	Линия	Goldschlaeger I	Cor de la Bryere	Alme Z	Ladykiller	Alme Z

Жеребец Чикаго продолжает линию Cor de la Bryere. Отец Чикаго – Chico's Boy считается одним из немногих универсальных производителей, стойко передающим своим потомкам качественные аллюры, отличную технику и силу прыжка. Чикаго уже в 3-летнем возрасте стал лучшим среди сверстников на заводских испытаниях и получил 10 баллов за двигательные качества.

Жеребец по кличке Гибсон рождён на конном заводе «Георгенбург» от Грандвилли и Булавы 12. Родословная этого жеребца восходит к Goldschlaeger I и Goldammer II. В 80-е годы XX века потомки линии Goldschlaeger I вывели ее на первое место в мире [8; 9].

Жеребец ганноверской породы Дантандер Хит является потомком выдающегося жеребца Де Ниро, лицензированного для племенного использования Ганноверским, Ольденбургским, Вестфальским, Рейландским, Мекленбургским, Шведским, Датским, Французским и другими племенными союзами. Его семя было использовано для оплодотворения около трех тысяч кобыл. Сам Де Ниро великолепно выступал в выездке, был неоднократным чемпионом Германии и получил титул «Лучший ганноверский жеребец 2008 года» [8–10].

Мать Дантандера – кобыла Сантана происходит от известного жеребца Сандро Хита ольденбургской породы, имеющего один из самых высоких в Германии индексов за производительность потомства – 153, самый высокий рейтинг надёжности – 88%. Его дети успешно выступают на соревнованиях высочайшего класса: в 2016 г. сразу 5 потомков Сандро Хита приняли участие в Олимпийских играх в Рио-де-Жанейро, двое из них получили медали.

Дантандер Хит лицензирован для племенного использования Ганноверским союзом Германии в 2010 г. с оценкой 7,1 балла. В «Георгенбурге» от него получены две ставки жеребят, которые зарегистрированы в Ганноверском и Рейнландском студбуках [8–12].

Жеребец голштинской породы Респект относится к линии Alme Z. Родоначальник линии Alme Z – первоклассный производитель, выигравший множество международных турниров. Этот жеребец получил ганноверский «знак качества», а также является первым жеребцом, удостоенным звания «евро-жеребца» за стойкость передачи отличных спортивных качеств. Его потомки показывают высокие спортивные результаты.

Еще один голштинский жеребец по кличке Хайлендер рождён в 1996 г. в Германии, он является потомком знаменитого жеребца Ladykiller, который стойко передавал потомкам превосходные движения, отличные прыжковые качества, красивую гнедую масть, великолепный экстерьер и покладистый характер [8–12].

Жеребец рыжей масти вестфальской породы Кулано рождён в 2008 г. в Германии. Он является представителем линии Alme Z. Отец Кулано – голштинский жеребец Quidam de Revel. Quidam был третьим на Олимпиаде в Барселоне в 1992 г. в командном зачёте и четвертым – в индивидуальном. Является выдающимся производителем современности и

продолжателем выдающейся конкурной линии его деда Alme Z. Мать Кулано – Tu Tuut, англо-норманская кобыла от Lux Z, участвовала во Всемирных конных играх 2002 г. в Хересе, отлично выступала на аренах Европы в конкуре.

Маточное поголовье конного завода преимущественно представлено ганноверскими кобылами (56,5%). Голштинских конематок – 26,1%, тракененских – 17,4% (табл. 2).

Таблица 2. Происхождение маточного поголовья лошадей конного завода «Георгенбург»
Table 2. Origin of the breeding stock of horses of the Georgenburg stud farm

Кличка кобылы	Порода	Отец	Мать	Родоначальник линии
Вавилонка 4	ган.	70 Волшебник 16	Велипоя 20	Флинг
Впадина 3	ган.	Витраж 18	479 Павлина 28	Флинг
Велипоя 20	ган.	Waldensee 70	Пилигрин 32	Флинг
Габиона	ган.	75 Грандвилли 860	358 Бегония 9	Goldschlaeger I
Габриэль	ган.	75 Грандвилли 860	370 Бургундия	Goldschlaeger I
Гарантия	ган.	75 Грандвилли 860	351 Артемида 41	Goldschlaeger I
Голдберри	ган.	75 Грандвилли 860	74 Булава 12	Goldschlaeger I
Капель 4	ган.	Койот Агли, Certo 25	Пасифея 1	Коттадж Сон XX
Кассиопея	ган.	Ланд Круизер	479 Павлина 28	Cor de la Bryere
Чародейка	ган.	Чикаго	Дисперсия	Cor de la Bryere
Чембер	ган.	Чикаго	Бласта 2	Cor de la Bryere
Ламбраска	ган.	Хайлендер	370 Бургундия	Ladykiller XX
Регалия 12	ган.	Гвидамс Рубин	Гравировка 8	Alme Z
Барфи 1	трак.	Бодайбо	Флоренция 35	Дарк Рональд XX
Табула	трак.	Торранс XX	30 Бебра 28	Дарк Рональд XX
Тироль	трак.	Торранс XX	Ла Донна 18	Дарк Рональд XX
Ода 11	трак.	Отлив 2	Арбия 31	Пильгер
Лоцера	голш.	Лацио	Оперетта 21	Ladykiller XX
Лабиага	голш.	Хайлендер	Биата 15	Ladykiller XX
Либерти 15	голш.	Хайлендер	30 Бебра 28	Ladykiller XX
Чили Пепперс	голш.	Чикос Бой	483 Панда 12	Cor de la Bryere
Баталия 8	голш.	Булат	Лакфиоль 96	Дарк Рональд XX
Рубрика 5	голш.	Гвидамс Рубин	Биата 15	Alme Z

Из данных табл. 2 следует, что кобылы конного завода «Георгенбург» принадлежат к известным крупнейшим линиям: Goldschlaeger I, Ladykiller XX, Cor de la Bryere и Дарк Рональда – по 17%, Флинга – 13%, Alme Z – 8,7 %, Пильгера и Коттадж Сон – по 4,3 % от общего поголовья.

Среди кобыл ганноверской породы наиболее часто встречаются представители линии Goldschlaeger I (30,7 %), линии Флинга (23,1 %), Cor de la Bryere (23,1%). Тракененские кобылы принадлежат линиям Дарк Рональда (75%) и Пильгера (25%), голштинские – Ladykiller XX (50 %), Cor de la Bryere (16,7%), Дарк Рональда (16,7%) и Alme Z (16,7%).

Линии Goldschlaeger I и Флинга зарекомендовали себя в конном спорте, поэтому их потомки активно используются в разведении.

Потомки Пильгера успешно выступают в конкуре и выездке. А сам родоначальник линии стойко передавал правильные движения на всех аллюрах. От Дарк Рональда потомки наследуют правильный экстерьер, уравновешенность темперамента, крепость сухожильно-связочного аппарата, смелость, долголетие, техничность прыжка, высокую работоспособность и выносливость.

Из всего вышесказанного можно заключить, что жеребцы-производители и племенные кобылы конного завода обладают ценным происхождением и высоким генетическим потенциалом.

Экстерьерная оценка лошадей является важным зоотехническим мероприятием, что обусловлено наличием тесной связи показателей экстерьера с хозяйственно-полезными признаками [7].

В табл. 3 приведены средние промеры и индексы племенных лошадей конного завода.

Таблица 3. Средние промеры и индексы лошадей ганноверской и тракененской пород конного завода «Георгенбург»
Table 3. Average measurements and indices of horses of the Hanoverian and Trakehner breeds of the Georgenburg stud farm

Показатели		Порода	
		Ганноверская n=61	Тракененская n=15
Средние промеры, см	высота в холке	166,49±0,41	162,00±0,90
	обхват груди	190,90±0,49	186,10±0,45
	обхват пясти	21,20±0,11	20,80±0,09
Индексы телосложения, %	широкотелости	115,00±0,43	114,70±0,73
	костистости	12,80±0,07	12,80±0,08

Из данных табл. 3 следует, что племенные лошади конного завода относятся к крупному верховому типу: высота в холке у ганноверов – 166,49 см, у тракенов – 162,00 см. Ганноверы, являясь более широкотелыми и рослыми, превосходят тракенов по всем промерам: по высоте в холке – на 4,49 см, обхвату груди – на 4,8 см, обхвату пясти – на 0,4 см. Индекс широкотелости лошадей обеих пород находится в пределах 114,7–115,0 %.

Несмотря на разницу в обхвате пясти в 0,4 см между ганноверами и тракенами, индекс костистости у обеих пород одинаковый и составляет 12,8 %.

Из недостатков экстерьера у лошадей конного завода редко встречаются провислая спина у маточного поголовья, развивающаяся вследствие частого племенного использования (жеребости), свислый круп. Однако имеющиеся недостатки экстерьера не влияют на их племенные качества.

Важным зоотехническим мероприятием является оценка работоспособности племенных жеребцов-производителей (табл. 4).

Таблица 4. Работоспособность жеребцов-производителей конного завода «Георгенбург»
Table 4. Efficiency of stallions-producers of the stud farm "Georgenburg"

Кличка жеребца-производителя		Чикаго	Респект	Хайлендер	Кулано	
Оценка двигательных качеств под всадником (на дорожке 25 м)	Шаг	Длина, см	111	93	102	104
		Оценка	12,5	8,0	10,5	11,0
	Рысь	Длина, см	185	208	185	156
		Оценка	10,5	12,0	10,5	8,0
	Стиль	Шаг, балл	8,5	7,2	7,3	8,6
		Рысь, балл	8,4	9,2	8,3	8,0
		Галоп, балл	8,4	7,3	9,0	8,5
	Итоговый балл		8,3	9,4	9,7	9,12

Продолжение таблицы 4.

Высота преодоленного препятствия, см		130	140	140	140
Оценка прыжковых качеств в шпрингартене (без всадника)	Сила, балл	13	15	15	15
	Стиль, балл	8,00	9,33	9,00	8,50
	Темперамент, балл	5	5	5	4,5
	Итоговый балл	8,67	9,78	9,67	9,33
Оценка спортивных качеств		–	9,59	9,71	9,23

Из данных табл. 4 следует, что все используемые в конном заводе жеребцы-производители высоко оценены за двигательные и прыжковые качества. Оценка за двигательные качества находится в диапазоне от 8,3 до 9,7 баллов. Лучшая оценка за двигательные качества принадлежит жеребцу Хайлендеру – 9,71 балла, за прыжковые – жеребцу Респекту (9,78 балла).

Самым длинным шагом обладает жеребец Чикаго (111 см), самым коротким – Респект (93 см). Стоит отметить, что при коротком шаге у Респекта самая широкая рысь, длина шага на рыси составляет 208 см.

Оценка силовых качеств и темперамента у трех жеребцов из четырех оцененных наивысшая – 15 и 5 баллов соответственно. Лишь жеребец Кулано оценен за темперамент в 4,5 балла. Лучший результат за спортивные качества получен жеребцом Хайлендером – 9,71 балла.

Все жеребцы-производители – активные участники различных конно-спортивных соревнований, в том числе международных, по выездке, конкуру, вольтижировке. Жеребец по кличке Чикаго за период 2018–2020 гг. стартовал 36 раз в различных дисциплинах конного спорта, Гибсон – 19 раз, Кулано – 8 раз, что подтверждает универсальность рабочих качеств этих жеребцов.

Классность жеребцов-производителей представлена в табл. 5.

Таблица 5. Классность жеребцов-производителей конного завода «Георгенбург»
Table 5. Classiness of stallions-producers of the stud farm "Georgenburg"

Показатели	Кличка жеребца-производителя				
	Гибсон	Чикаго	Респект	Хайлендер	Кулано
Происхождение, балл	8,50	9,00	8,00	8,70	9,00
Типичность, балл	9,00	8,30	8,00	9,00	8,50
Экстерьер, балл	8,00	7,76	8,21	8,00	7,80
Работоспособность, балл	9,34	10,40	9,59	9,71	9,23
Двигательные качества, балл	9,23	8,67	9,40	9,70	9,12
Прыжковые качества, балл	9,42	9,54	9,78	9,67	9,33
Класс	элита	элита	элита	элита	элита

Из табл. 5 видно, что все жеребцы конного завода «Георгенбург» относятся к классу элита, т. е. являются лучшими представителями своих пород.

Кобылы конного завода, используемые в воспроизводстве, элитные.

Успех развития коневодства во многом зависит от показателя воспроизводства, который характеризуется процентом оплодотворяемости, жеребости, выхода жеребят и т. д.

В табл. 6 приведены данные по воспроизводительным способностям кобыл конного завода «Георгенбург».

Таблица 6. Воспроизводительные способности кобыл конного завода «Георгенбург»
Table 6. Reproductive abilities of the mares of the stud farm "Georgenburg"

Год	Результат случки										
	случено маток, голов				из числа жеребых, голов			родилось живых жеребят, голов			% благополучной выжеребки
	всего	прохолостело	зажеребело	% зажеребляемости	выбыло и пало	абортов, с/р и м/р	продано	всего	жеребчик	кобылка	
2018	45	6	39	86,67	3	8	2	26	14	12	66,67
2019	32	1	31	96,87	1	7	0	23	9	14	74,19
2020	33	6	27	81,82	3	3	1	20	6	14	74,10

Из данных табл. 6 следует, в 2019 и 2020 гг. случалось практически одинаковое число кобыл (32 и 33 головы соответственно), что говорит о стабильном состоянии и развитии хозяйства. Однако довольно сильно снизился процент зажеребляемости – на 15,06 %.

Стоит отметить, что из числа жеребых кобыл благополучная выжеребка произошла у 74,19 % – в 2019 г., 74,10 % – в 2020 г. Самый низкий процент благополучной выжеребки получен в 2018 г. – 66,67%, что связано с выбытием кобыл из племенного состава, абортными и продажей жеребых кобыл. Всего за этот год из 45 слученных кобыл выбыло 13 голов (29%).

Процент зажеребляемости на протяжении всего рассматриваемого периода не опускался ниже 80 %. Максимальное значение наблюдалось в 2019 г. – 96,87 %.

Выводы. Племенные лошади ганноверской и тракненской пород, используемые на конном заводе «Георгенбург», имеют отличное происхождение и принадлежат к линиям: Goldammer, Cor de la Bryere, Alme Z, Ladykiller, Флинга, Дарк Рональда и Пильгера, что говорит об их высоком генетическом потенциале.

По промерам и индексам телосложения лошади ганноверской и тракненской пород конного завода имеют выраженный верховый тип. Ганноверы более рослые и широкотелые по сравнению с тракенами. Недостатки экстерьера не влияют на работоспособность лошадей и племенные качества лошадей.

Жеребцы-производители конного завода «Георгенбург» высоко оценены по работоспособности. Они обладают отличными двигательными и прыжковыми качествами, что позволяет им показывать высокие результаты на соревнованиях и передавать их потомству.

Всё племенное поголовье конного завода «Георгенбург» – элитное.

В случной кампании 2020 г. участвовали 7 жеребцов-производителей и 33 конематки. Процент зажеребляемости составил 81,82%, благополучной выжеребки – 74,10 %.

Список источников литературы

1. Альп, К. Тракены Эстонии: сборник ВНИИК / К. Альп. – Дивово, 2018. – С. 47–55.
2. Политова, М. Коннозаводство: Хранители спортивных генов / Политова М. // Gold mustang. – 2020. – № 1 (195). – URL: <http://www.goldmustang.ru/magazine/konevodstvo/11656.html> (дата обращения: 27.10.2022).
3. Бачурина, Е. М. Двигательные, прыжковые качества лошадей спортивного направления и их работоспособность / Е. М. Бачурина, В. И. Полковникова // Пермский аграрный вестник. – 2020. – № 1 (29). – С. 108–114.

4. Политова, М.А. Анализ систем определения племенной ценности жеребцов-производителей в полукровном коневодстве Европы на примере ФРГ/ Политова М.А. // Коневодство и конный спорт. – 2019. – № 2. – С. 36–38.
5. Политова, М. Коннозаводство: Между традициями и новациями / М. Политова // Gold mustang. – 2022. – № 3 (212). – URL: <http://www.goldmustang.ru/magazine/konevodstvo/13591.html> (дата обращения: 27.10.2022).
6. Алексеева, Е.И. Керунг тракененских лошадей Литвы и Эстонии / Е.И. Алексеева, А.В. Санганаева, Е.Г. Самандеева // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. – 2021. – № 1(62). – С. 137–146.
7. Демидова, А. К. Оценка экстерьера племенных и спортивных лошадей ООО «Конный завод «Георгенбург» / А. К. Демидова, А. В. Санганаева. – СПб.: СПбГАУ. – 2021. – С. 99–100.
8. Серкова, Ю. Коннозаводство: Самородки древнего замка «Георгенбург» / Ю. Серкова // Gold mustang. – 2018. – № 5 (181). – С. 40–43.
9. Vicente A.A., Carolino N., Gamaac L.T. Genetic diversity in the Lusitano horse breed assessed by pedigree analysis // Livestock Science. – 2012. – Vol. 148. – P. 16–25. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141312001667> (дата обращения: 01.12.2022).
10. Roos L., Hinrichs D., Nissen T., Krietera J. Investigations into genetic variability in Holstein horse breed using pedigree data // Livestock Science. – 2015. – Vol.177. – P. 25–32. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141315001948> (дата обращения: 01.12.2022).
11. Stewart D., Woolliams J.A., Brotherstone S. Genetic evaluation of horses for performance in dressage competitions in Great Britain // Livestock Science. – 2010. – Vol. 128. – P. 36–45. – URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141309003424> (дата обращения: 01.12.2022).
12. Abdelhanine A., Bessebouab O., Aissanoua S. Profiling of genetic markers useful for breeding decision in Selle Francais horse // Livestock Science. – 2020. – Vol. 116. – P. 28.

References

1. Al'p, K. (2018), “*Trakeny Estonii*”, *Sbornik VNIK* [Trakens of Estonia: collection of VNIK], Divovo, pp. 47–55. (In Russian)
2. Politova, M.A. (2020), Horse breeding: Keepers of sports genes, *Gold mustang*, vol. 195, no. 1, available: <http://www.goldmustang.ru/magazine/konevodstvo/11656.html>, accessed 27.10.2022. (In Russian)
3. Bachurina, E. M., Polkovnikova, V. I. (2020), Motor, jumping qualities of sports horses and their performance, *Permskij agrarnyj vestnik*, vol. 29, no. 1, pp. 108–114. (In Russian)
4. Politova, M.A. (2019), Analysis of systems for determining the breeding value of breeding stallions in half-blood horse breeding in Europe on the example of Germany, *Konevodstvo i konnyj sport*, no 2, pp. 36–38. (In Russian)
5. Politova, M. (2022), Horse breeding: Between traditions and innovations, *Gold mustang*, vol. 212, no. 3, available: <http://www.goldmustang.ru/magazine/konevodstvo/13591.html>, accessed 27.10.2022. (In Russian)
6. Alekseeva, E.I., Sanganaeva, A.V., Samandeeva, E.G. (2021), Kerung trakenen horses of Lithuania and Estonia, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 62, no. 1, pp. 137–146. (In Russian)
7. Demidova, A. K., Sanganaeva, A. V. (2021), “*Oценка ekster'era plemennyh i sportivnyh loshadej OOO «Konnyj zavod «Georgenburg»*” [Assessment of the exterior of breeding and sports horses of LLC "Stud Farm "Georgenburg"], SPb, SPbGAU, pp. 99–100. (In Russian)
8. Serkova, Y. (2018), Horse breeding: Nuggets of the ancient castle "Georgenburg", *Gold mustang*, vol. 181, no. 5, pp. 40–43. (In Russian)
9. Vicente, A.A., Carolino, N., Gamaac, L.T. (2012), Genetic diversity in the Lusitano horse breed assessed by pedigree analysis, *Livestock Science*, vol. 148, pp. 16–25, available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141312001667>, accessed 01.12.2022.
10. Roos, L., Hinrichs, D., Nissen, T., Krietera, J. (2015), Investigations into genetic variability in Holstein horse breed using pedigree data, *Livestock Science*, vol. 177, pp. 25–32, available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141315001948>, accessed 01.12.2022.

11. Stewart, D., Woolliams, J.A., Brotherstone, S. (2010), Genetic evaluation of horses for performance in dressage competitions in Great Britain, *Livestock Science*, vol. 128, pp. 36–45, available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141309003424>, accessed 01.12.2022.
12. Abdelhanine, A., Bessebouab, O., Aissanoua, S. (2020), Profiling of genetic markers useful for breeding decision in Selle Francais horse, *Livestock Science*, vol. 116, p. 28.

Сведения об авторах

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

Тайгунов Михаил Евгеньевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 8962-1740.

Information about the authors

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

Mihail E. Taigunov – Candidate of agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of private zootechnics and breeding of farm animals, Federal state budgetary educational institution of higher education "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy", spin-code: 8962-1740

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья поступила в редакцию 26.10.2022; одобрена после рецензирования 02.12.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 26.10.2022; approved after reviewing 02.12.2022; accepted after publication 14.12.2022

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES
OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

Научная статья

УДК 677.027

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-149-158

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР
С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ**

**Роман Анатольевич Шушков¹, Виктор Александрович Смелик²,
Александр Николаевич Перекопский³**

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина,
улица Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, 160555, Россия; roma970@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-4084-8930>

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе,
д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; smelik_va@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>

³Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –
филиал ФНАЦ ВИМ, Филтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,
Санкт-Петербург, 196625, Россия; aperekopskii@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>

Реферат. На территории РФ из лубяных культур распространены лён-долгунец, лён масличный и техническая конопля. Современные инновационные технологии позволяют выпускать из этих культур более 25 тысяч видов продукции в химической, строительной, оборонной, автомобильной, текстильной и других отраслях промышленности. Все чаще сельхозпроизводители стали сеять не одну, а две и даже три лубяные культуры. Этим предприятиям необходима одна универсальная линия первичной переработки. В настоящее время в РФ отсутствует эффективная линия, которая смогла бы перерабатывать указанные лубяные культуры в однотипное неориентированное или короткое волокно.

Представленные в настоящей статье исследования направлены на создание научно обоснованных машинных технологий первичной переработки льна-долгунца, льна масличного и технической конопли в волокно для текстильной и легкой промышленности для производства из него натуральной, экологически чистой продукции народного потребления.

Цель исследований – изучение показателей качества коноплесырья в виде спутанных ломаных стеблей технической конопли повышенной влажности и пеньки однотипной после первичной переработки на линии с использованием дезинтегратора.

Предложено каждый тип коноплесырья перерабатывать по трем вариантам: 1 – однократный пропуск через линию первичной переработки; 2 – двукратный пропуск через линию, без изменения настроек технологического оборудования; 3 – добавление в линию мяльной машины для льна М-110Л2.

По результатам проведенных экспериментов можно отметить следующее: для первичной переработки коноплесырья повышенной влажности нужен процесс сушки, для снижения массовой доли костры волокна необходимо увеличить число трепальных машин в линии, тогда возможно перерабатывать лубяное сырье с влажностью до 30%, существенно не снижая производительность, и обеспечить достаточное качество волокна.

Ключевые слова: лубяные культуры, первичная переработка, трепальная машина, однотипное льноволокно

Цитирование. Шушков Р.А., Смелик В.А., Перекопский А.Н. Исследование первичной переработки лубяных культур с повышенной влажностью // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 149–158. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-149-158

INVESTIGATION OF PRIMARY PROCESSING OF BAST CROPS WITH INCREASED HUMIDITY

Roman A. Shushkov¹, Viktor A. Smelik², Aleksandr N. Perekopskiy³

¹Vologda State Dairy Farming Academy, Schmidta 2, Vologda, Molochnoe, 160555, Russia; roma970@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4084-8930>

²Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe shosse, 2, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia; smelik_va@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>

³Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of FSAC VIM, Fil'trovskoe shosse, 3, St. Petersburg, Tyarlevo village, 196625, Russia; aperekopskii@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>

Abstract. On the territory of the Russian Federation, flax, oilseed flax and technical hemp are common from bast crops. Modern innovative technologies make it possible to produce more than 25 thousand types of products from these crops in chemical, construction, defense, automotive, textile and other industries. Increasingly, agricultural producers began to sow not one bast crop, but two or even three named crops. These enterprises need one universal primary processing line. Currently, there is no effective line in the Russian Federation that could process these bast crops into the same type of undirected or short fiber. The research presented below is aimed at creating scientifically-based machine technologies for the primary processing of flax, oilseed flax and technical hemp into fiber for the textile and light industry in order to produce natural, environmentally friendly consumer products from it. The purpose of the research is to study the quality indicators of hemp raw materials in the form of tangled broken stems of technical hemp of high humidity and hemp of the same type after primary processing on the line using a disintegrator. It is proposed to process each type of hemp raw materials in three ways: 1 - a one-time pass through the primary processing line; 2 - a two-time pass through the line without changing the settings of the technological equipment; 3 - a flax milling machine M-110L2 was added to the line. According to the results of the experiments, the following can be noted: for the primary processing of hemp raw materials with high humidity, a drying process is needed, in order to reduce the mass fraction of fiber fires, it is necessary to increase the number of threading machines in the line, then it is possible to process bast raw materials with a humidity of up to 30% without significantly reducing productivity and to ensure sufficient fiber quality.

Keywords: bast crops, primary processing, scutching machine, single-type flax fiber

Citation. Shushkov, R.A., Smelik, V.A., Perekopsky, A.N. (2022), "Investigation of primary processing of bast crops with increased humidity", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 149–158, (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-149-158

Введение. На территории Российской Федерации из растений, относящихся к лубяным культурам, распространены лён-долгунец, лён масличный и техническая конопля. Современные инновационные технологии позволяют выпускать из них более 25 тысяч видов продукции в химической, строительной, оборонной, автомобильной, текстильной и иных отраслях промышленности.

Все чаще сельхозпроизводители стали сеять не одну лубяную культуру, а две и даже три, т. е. лён-долгунец, лён масличный и техническую коноплю. Для таких предприятий

является более эффективной универсальная линия первичной переработки. В настоящее время в РФ отсутствует универсальная линия, которая смогла бы перерабатывать указанные лубяные культуры в однотипное неориентированное или короткое волокно.

В линиях производства однотипного льноволокна и пеньки до сих пор применяются льняные дезинтеграторы и не разработан отечественный дезинтегратор – трепальная перерабатывающая машина, устанавливаемая в универсальной линии первичной переработки лубяных культур в виде спутанной массы ломаных стеблей в волокно однотипное неориентированное, а также отходов трепания от производства трепаного льна и конопли в волокно короткое. Кроме того, большой практический интерес представляет исследование влияния начальной влажности исходного сырья на эффективность обработки волокна в дезинтеграторе.

В силу агротехнологических особенностей лен убирают тереблением несколькими способами [1]. Выбор способа уборки зависит от условий возделывания льна и во многом определяет технологию его первичной переработки [2]. В работах [3–10] представлены исследования первичной переработки тресты льна-долгунца, льна масличного, конопли (имеющей технологическую влажность 11–15%) в виде спутанных ломаных стеблей осенней и весенней уборки [8; 11; 12; 13]. Сырье такой влажности является легкообрабатываемым и достаточно эффективно подвергается обработке в однотипное волокно [5; 8; 9]. Однако очень часто бывает, что влажность превышает технологическое значение в силу погодных условий и отсутствия в линиях переработки сушильных машин. Исследование влияния влажности исходного сырья на эффективность обработки волокна в дезинтеграторе представляет большой практический интерес. Например, изменение влажности значительно влияет на среднюю длину получаемого продукта (Носов А.Г., Вихарев С.М., Дроздов В.Г. Влияние влажности на вероятностные параметры распределения штапельной длины отходов трепания при обработке в дезинтеграторе // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 3. – С. 40–42), а также на другие показатели качества волокна.

Цель исследования – изучение значений показателей качества коноплесырья в виде спутанных ломаных стеблей технической конопли повышенной влажности осенней уборки и пеньки однотипной из него после первичной переработки на линии с использованием дезинтегратора.

Материалы, методы и объекты исследований. С помощью комплекса лабораторно-измерительного оборудования у образцов исходной технической конопли определены следующие показатели качества: влажность; длина ломанных стеблей (средняя, минимальная, максимальная) диаметр стеблей (средний, минимальный, максимальный); содержание волокна; разрывная нагрузка волокна в тресте конопляной; отделяемость волокна от древесины.

Влажность определена по ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения» с помощью сушильного шкафа.

Результаты исследований. Результаты определения влажности и других показателей качества исходного коноплесырья представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Влажность технической конопли в виде ломаных и спутанных стеблей перед первичной переработкой двух типов в различных местах рулона
 Table 1. Humidity of technical hemp in the form of broken and tangled stems before the primary processing of two types in different places of the roll

№ п.п.	Точки замера	Тип 1	Тип 2
1	Снаружи рулона	23	22
2	Внутри рулона	26	34
3	Среднее значение	25	28
4	Среднее по всей массе	28	31

Примечание. Нормированная влажность стеблей конопли при хранении должна быть 19–23%, технологическая влажность стеблей конопли для первичной переработки с целью производства однотипной пеньки – 11–15%.

Таблица 2. Показатели качества технической конопли в виде ломаных и спутанных стеблей перед первичной переработкой двух типов в различных местах рулона
 Table 2. Quality indicators of technical hemp in the form of broken and tangled stems before the primary processing of two types in different places of the roll

№ п.п.	Показатель	Тип 1	Тип 2
1	Длина поломанных стеблей, мм:		
	средняя	93	105
	минимальная	20	15
	максимальная	248	250
2	Диаметр стеблей, мм:		
	средний	2,8	2,8
	минимальный	1,7	1,6
	максимальный	4,0	4,5
3	Содержание волокна, %	38	31
4	Разрывная нагрузка, кгс	17	16
5	Отделяемость волокна от древесины, ед.	3,1	4,8

В соответствии с данными табл. 1 влажность коноплесырья обоих типов в различных местах рулона составляет в среднем 28–31%. Хранение коноплесырья с такой влажностью приемлемо, но для первичной переработки эта влажность очень высокая, т. к. при этом костра из волокна удаляется малоэффективно, некоторое количество сырья выпадает в отходы, оборудование чаще останавливается для очистки и снятия намотов, возможны поломки оборудования, а значит, снижается производительность.

Данные табл. 2 показывают, что оба типа коноплетресты в большинстве случаев имеют приблизительно одинаковые значения показателей качества. Существенно различаются только два показателя: содержание волокна в тресте – 38 и 31% – достаточно высокое, что является положительным, и отделяемость волокна от древесины – 3,1 и 4,8 ед. соответственно. Такие низкие значения отделяемости волокна от древесины показывают, что при первичной переработке будет обеспечено малоэффективное отделение костры от волокна, а если увеличить число механических воздействий, то может не только увеличиться себестоимость переработки тресты, но и существенно снизиться качество волокна. Низкая отделяемость объясняется недостаточной вылежкой (росяной мочкой).

Влажность перерабатываемых в исследовании типов коноплесырья составляет около 30% и они имеют низкую отделяемость волокна от древесины, оба типа являются труднообрабатываемым сырьем и их переработку следует изучить.

Далее, как показано рис. 1, коноплесырье переработано на промышленной мини-линии первичной переработки в пеньку однотипную (рис. 2).



Рисунок 1. Коноплесырье в виде ломаных спутанных стеблей осенней уборки
Figure 1. Hemp in the form of broken tangled stems of autumn harvesting

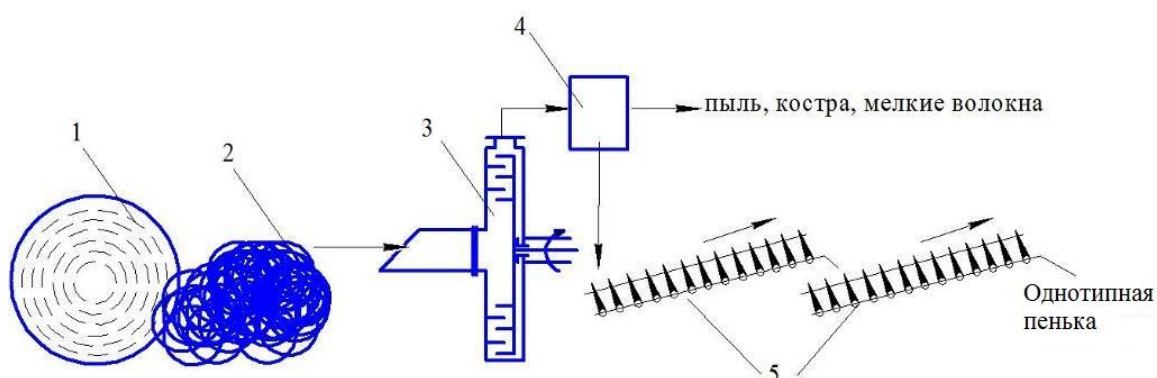


Рисунок 2. Схема технологической линии переработки конопли в однотипную пеньку:
1) рулон технической конопли; 2) порция конопли, отделенная от рулона;
3) дезинтегратор ДЛВ-2; 4) разгрузитель волокна ВУЛ;
5) трясильные машины от агрегата КПАЛ

Figure 2. The scheme of the technological line for processing hemp into the same type of hemp:
1) a roll of technical hemp; 2) a portion of hemp separated from the roll;
3) disintegrator DLV-2; 4) fiber unloader VUL;
5) shaking machines from the KPAL unit

Линия предназначена для переработки подобного по виду, но льняного сырья. Она состояла из дезинтегратора ДЛВ-2, горизонтального пластинчатого разгрузителя волокна ВУЛ системы И.Н. Левитского и двух трясильных машин с нижним гребенным полем.

Каждый тип коноплесырья перерабатывался по трем вариантам:

- вариант 1 – однократный пропуск через линию первичной переработки (см. рис. 2);
- вариант 2 – двукратный пропуск через линию (см. рис. 2), т. е. полученное волокно после первого пропуска снова вручную подавалось на эту же линию, при этом не изменялись настройки технологического оборудования;
- вариант 3 – в линию, показанную на рис. 2, была добавлена мяльная машина для льна М-110Л2.

Режимы работы машин в линии: частота вращения ротора дезинтегратора ДЛВ-2 – 1000 мин⁻¹, частота качаний игольчатых валиков трясильных машин – 230 мин⁻¹.

С помощью комплекса лабораторного измерительного оборудования у образцов однотипной пеньки, полученной путем первичной переработки технической конопли, определены следующие показатели качества: массовая доля костры; массовая доля «лапы»; разрывная нагрузка скрученной ленточки; сорт однотипной (короткой) пеньки.

Показатели качества определены по ГОСТ 9993-2014 «Пенька короткая. Технические условия», а также ГОСТ Р 58957-2020 «Пенька однотипная неориентированная. Технические условия».

Результаты исследования показателей качества пеньки однотипной неориентированной, полученной на различном составе оборудования (различных вариантах), представлены в табл. 3, внешний вид типовых образцов – на рис. 3.

Таблица 3. Показатели качества пеньки однотипной неориентированной, полученной из коноплесырья двух типов
Table 3. Quality indicators of hemp of the same type, random, obtained from hemp of two types

№ п.п.	Показатель	Варианты первичной переработки конопли (линии)					
		1		2		3	
		тип 1 Д+Т+Т*	тип 2 Д+Т+Т*	тип 1 Д+Т+Т+ Д+Т*	тип 2 Д+Т+Т+ Д+Т*	тип 1 М-110Л2+ Д+Т+Т*	тип 2 М- 110Л2+ Д+Т+Т*
1	Массовая доля костры, %	35	36	32	32	32	33
2	Разрывная нагрузка, %	13	13	12	12	12	12
3	Массовая доля лапы, %	0	0	0	0	0	0
4	Сорт	–	–	–	–	–	–
5	Выход однотипной пеньки, %	43	31	30	35	32	27

* Д – дезинтегратор, Т – машина трясильная, М-110Л2 – машина мяльная

В соответствии с данными табл. 3 выход однотипной пеньки неориентированной достаточно высокий и составляет 25–43%. Однако во всех трех вариантах первичной переработки получены высокие значения массовой доли костры 32–35%, что говорит о низком качестве волокна, т. к. по стандарту массовая доля костры не должна превышать 21% для самого низкого сорта.

Сорт пеньке невозможно присвоить также из-за низкой разрывной нагрузки полученного волокна. Вариант линии 1 (см. табл. 3) нецелесообразно применять для исследованного коноплесырья. В данном случае наиболее эффективно использовать варианты линий 2 и 3.



Рисунок 3. Вид произведенного волокна: а) пенька, полученная по варианту 1;
б) пенька, полученная по варианту 2; в) пенька, полученная по варианту 3
Figure 3. Type of fiber produced: a) hemp obtained according to option 1;
b) hemp obtained according to option 2; c) hemp obtained according to option 3

Выводы. В итоге по результатам экспериментов можно отметить:

– для первичной переработки коноплесырья осенней уборки повышенной влажности нужен процесс сушки (сушильная машина), т. к. не обеспечиваются требуемые значения показателей качества получаемой пеньки; для снижения массовой доли костры волокна в данном случае необходимо выполнить одно из следующих условий: увеличить число трепальных машин в линии, добавить в линию процесс сушки;

– в исследованиях выявлено, что пропуск конопли через дезинтегратор сопровождается периодическими забивками сырьем рабочих органов, что существенно снижает производительность по входному сырью, которая составляет не более 200 кг/ч, что крайне недостаточно для рентабельной работы предприятия;

– преимуществом линии первичной переработки лубяных культур, в которую будет включена трепальная машина в сравнении с другими линиями, заключается в том, что она сможет перерабатывать лубяное сырье с влажностью до 30%, существенно не снижая производительность и обеспечивая достаточное качество волокна.

Вышеуказанные рекомендации будут эффективно реализованы в производстве однотипной пеньки при выполнении следующих условий:

– влажность коноплесырья не должна превышать 14–16%;

– необходимо обоснованно увеличить размеры конструктивных элементов трепальной машины в сравнении с размерами льняного дезинтегратора, что позволит перерабатывать льно- и коноплесырье;

– предварительно рациональная частота вращения ротора трепальной машины должна составлять 900–1200 мин⁻¹.

Полученное волокно может быть использовано для производства различных изделий: межвенцовых и объемных утеплителей, штапелированной пеньки, пряжи, различной целлюлозы, композитов и многого другого.

Список источников литературы

1. Сельскохозяйственные машины / В.Е. Бердышев, Л.И. Ерошенко, А.Б. Калинин, М.А. Новиков, В.А. Ружьев, В.А. Смелик, И.З. Теплинский. – СПб.: Проспект Науки, 2022. – 316 с.
2. Шушков, Р.А. Повышение эффективности заготовки льносырья / Р.А. Шушков, Карпышев А.Г., Крюков И.А. // Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы: материалы V научно-практической конференции с международным участием. – Вологда, 2022. – С. 342–345.
3. Research on mechanical properties and durability of flax/glass fiber bio-hybrid FRP composites laminates / L. Zhengyi, W. Hongguang, Y. Lanjie, D. Jinbo // Composite Structures. 2022. – Vol. 290.
4. Exploring the link between flexural behavior of hemp and flax stems and fibre stiffness / Requite S. et al. // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 113. – P. 179–186.
5. Новиков, Э.В. Сравнительные исследования заводских технологий переработки масличного льна в короткое волокно / Э.В. Новиков, К.В. Смирнов // Вестник Костромского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (34). – С. 12–16.
6. Льнозавод по переработке масличного льна в короткое волокно на основе разработанной линии для стеблевой массы / Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко, В.Г. Внуков, Е.М. Пучков, М.М. Ковалев // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: материалы Междунар. научно-практ. конф. – Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2016. – С. 236–245.
7. Универсальная линия для переработки льна и пеньки в различные виды готовой продукции / А.В. Безбабченко, Э.В. Новиков, М.М. Ковалев, Е.М. Пучков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 1 (361). – С. 54–58.
8. Басова, Н.В. Анализ линий переработки технической конопли / Н.В. Басова, Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 4 (33). – С. 54–61.
9. On flexural properties of additive manufactured composites: experimental and numerical study / Krzikalla D., Halamar R., Mezicek J., Hajnyc J., Pagas M., Petru J., Cegan T. // Composites science and technology. – 2022. – Vol. 218.
10. Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switchgrass and biomass sorghum / Das L., Liu E.S., Saeed A., Williams D.W., Hu H.Q., Li C.L., Ray A.E., Shi J. // Bioresource technology. – 2017. – Vol. 244. – P. 641–649.
11. Смирнов, К.В. Сравнительные исследования малозатратных технологий получения однотипного и короткого льноволокна / К.В. Смирнов, Е.С. Жирнов, Э.В. Новиков // Материалы 67-й межвузовской научно-технич. конфер. «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству», посвященной 70-летию Великой Победы. – 2015. – Кострома; Изд-во КГТУ. – Т. 2. – С. 93–94.
12. Исследование первичной переработки масличного льна с применением инновационного агрегата КВЛ-1М и технологических схем дополнительной обработки волокна / Е.В. Соболева, Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко, С.В. Прокофьев, В.Г. Внуков // Аграрный научный журнал. – Саратов, 2019. – № 1. – С. 81–85.
13. A review of important considerations in the compression molding process of short natural fibers composites / Jamiluddin J., Januar P. S., Cionita T., Mohammad H., Mohammad H., Teuku R. // The International Journal of Advansed Manufacturing Technolody. – 2019. – № 105. – P. 3437–3450.

References

1. Berdyshev V.E., Eroshenko L.I., Kalinin A.B., Novikov M.A., Ruzhev V.A., Smelik V.A., Teplinsky I.Z. (2022), *Sel'skohozyajstvennye mashiny* [Agricultural machines], St. Petersburg, Prospect Nauki, 316 p. (In Russian)
2. Shushkov R.A., Karpyshev A.G., Kryukov I.A. (2022), “Povyshenie effektivnosti zagotovki l'nosyr'ya” [Improving the efficiency of harvesting flax raw materials], *Agricultural science at the present stage: state, problems, prospects: materials of the V scientific and practical conference with international participation*, Vologda, pp. 342–345. (In Russian)
3. Zhengyi L., Hongguang W., Lanjie Y., Jinbo D. (2022), “Research on mechanical properties and durability of flax/glass fiber bio-hybrid FRP composites laminates”, *Composite Structures*, vol. 290.
4. Requite S. et al. (2018), “Exploring the link between flexural behavior of hemp and flax stems and fibre stiffness”, *Industrial Crops and Products*, vol. 113, pp. 179–186.
5. Novikov, E.V., Smirnov, K.V. (2015), “Comparative studies of factory technologies for processing oilseed flax into short fiber”, *Scientific Bulletin of KSTU*, no. 1 (34), pp. 12–16. (In Russian)
6. Novikov, E.V., Bezbabchenko, A.V., Vnukov, V.G., Puchkov, E.M., Kovalev, M.M. (2016), “L'nozavod po pererabotke maslichnogo l'na v korotkoe volokno na osnove razrabotannoj linii dlya stebel'noj massy” [Flax plant for processing oilseed flax into a short fiber based on the developed line for stem mass], *Innovative developments in the production and processing of bast crops: materials of the International Scientific and practical Conference*, Tver, Tver. state un., pp. 236–245. (In Russian)
7. Bezbabchenko, A.V., Novikov, E.V., Kovalev, M.M., Puchkov, E.M. (2016), “Universal line for processing flax and hemp into various types of finished products”, *Technology of the textile industry*, no. 1 (361), pp. 54–58. (In Russian)
8. Basova, N.V., Novikov, E.V., Bezbabchenko, A.V. (2019), “Analysis of technical hemp processing lines”, *Innovations in agriculture*, no. 4 (33), pp. 54–61. (In Russian)
9. Krzhikalla, D., Halamar, R., Mesichek, J., Khainik, J., Pagas, M., Petru, J., Chegan, T. (2022), “On the bending properties of composites made with additives: experimental and numerical study”, *Science and technology of composites*, vol. 218.
10. Das L., Liu E.S., Said A., Williams D.W., Hu H.K., Li K.L., Ray A.E., Shi J. (2017), “Technical hemp as a potential bioenergetic crop in comparison with kenaf, seedling and sorghum from biomass”, *Technology of bioresources*, vol. 244, pp. 641–649.
11. Smirnov, K.V., Zhirnov, E.S., Novikov, E.V. (2015), “Sravnitel'nye issledovaniya malozatratnykh tekhnologij polucheniya odnotipnogo i korotkogo l'novolokna” [Comparative studies of low-cost technologies for obtaining the same type and short flax fiber], *Materials of the 67th interuniversity scientific and technical conference "Students and young scientists of KSTU – production" dedicated to the 70th anniversary of the Great Victory*, vol. 2, Kostroma, KSTU, pp. 93–94. (In Russian)
12. Soboleva, E.V., Novikov, E.V., Bezbabchenko, A.V., Prokofiev, S.V., Vnukov, V.G. (2019), “Research of primary processing of oilseed flax using an innovative KVL-1M unit and technological schemes of additional fiber processing”, *Agrarian Scientific Journal*, Saratov, no. 1, pp. 81–85. (In Russian)
13. Jamiluddin J., Januar P. S., Sionita T., Mohammad H., Mohammad H., Teuku R. (2019), “Overview of important considerations in the process of compression molding of composites from short natural fibers”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, no. 105, pp. 3437–3450.

Сведения об авторах

Шушков Роман Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», spin-код: 8565-3800.

Смелик Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 2462-1130.

Перекопский Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела «Агроэкологии в растениеводстве» научно-исследовательского института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) –

филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», spin-код: 5656-1108.

Information about the authors

Roman A. Shushkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin", spin-code: 8565-3800.

Viktor A. Smelik – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", spin-code: 2462-1130.

Alexander N. Perekopsky – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher of the Department "Technologies and Technical Means of Grain and Feed Production" of the Research Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) – branch of the Federal state budgetary scientific institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", spin-code: 5656-1108.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Conflict of interest. The authors state that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 16.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 16.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 631.333.43 + 631.312.65

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-158-171

ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОРУДИЯ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

**Андрей Иванович Панов¹, Николай Васильевич Алдошин²,
Александра Анатольевна Манохина³, Валентин Владимирович Семин⁴**

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия; panov@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-8673-0885>

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия; naldoshin@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия; alexman80@list.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

⁴Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия; vsemin@mzpotok.ru

Реферат. Перспективной технологией утилизации продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных на крупных животноводческих комплексах является внутрисочвенное внесение жидкого навоза на близлежащие поля в дозах 100 т/га и более. Для этого используются шланговые системы, перекачивающие жидкий навоз на расстояния 5 км и более, и инъекция его в почву на большую глубину. Объектом исследования является разработанный опытный образец комбинированной машины для внесения жидких органических удобрений с рабочими органами в виде чизельных лап с открьлками. Цель исследования – обоснование методики расчета сил, действующих на чизельный глубокорыхлитель для внутрисочвенного внесения жидкого навоза, и оценка затрат энергии при работе машинно-тракторного агрегата для глубокого внутрисочвенного внесения жидкого навоза с использованием шланговых систем. Разработана математическая модель расчета сил, действующих на глубокорыхлитель в зависимости от условий работы (удельного сопротивления почвы, глубины обработки и скорости) и параметров конструкции чизельных лап (их количества и геометрии). Получены зависимости технологических и энергетических параметров при различных почвенных условиях: рекомендуемая глубина внесения жидкого навоза для чизельных лап с открьлками доходит до 36 см; на почвах с удельным сопротивлением 35 кПа при скорости 0,6...0,8 м/с потребное тяговое усилие трактора составляет 70...72 кН. Для агрегата на базе трактора К-744 удельная энергоемкость технологического процесса равняется 46...47 кВт·ч/га без учета мощности насосной станции для прокачки жидких органических удобрений через шланговую систему.

Ключевые слова: жидкие органические удобрения, внутрисочвенное внесение удобрений, чизельные рабочие органы, затраты энергии

Цитирование. Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Тягово-энергетический расчет орудия для внутрисочвенного внесения органических удобрений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 158–171. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-158-171.

TRACTION AND ENERGY CALCULATION OF IMPLEMENT FOR INTRA-SOIL APPLICATION OF ORGANIC FERTILIZERS

Andrey I. Panov¹, Nikolay V. Aldoshin², Alexandra A. Manokhina³, Valentin V. Semin⁴

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str, 49, Moscow, 127434, Russia; panov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8673-0885>

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str, 49, Moscow, 127434, Russia; naldoshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str, 49, Moscow, 127434, Russia; alexman80@list.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

⁴Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str, 49, Moscow, 127434, Russia, vsemin@mzpotok.ru

Abstract. A promising technology for the utilization of slurry at large livestock complexes is its intra-soil application to nearby fields at doses of 100 t/ha or more. For this, hose systems are used to pump liquid manure over distances of 5 km or more and inject it into the soil to a greater depth. The object of the study is the developed prototype of a combined machine for applying liquid organic fertilizers with working tools in the form of chisel paws with openings. The purpose of the study is to substantiate the methodology for calculating the forces acting on a chisel subsoiler for the subsoil

application of liquid manure, and to estimate the energy consumption during the operation of a machine-tractor unit for deep subsoil application of liquid manure using hose systems. A mathematical model has been developed for calculating the forces acting on the subsoiler depending on the operating conditions (soil resistivity, processing depth and speed), as well as the design parameters of chisel shares (their number and geometric parameters). The dependences of technological and energy parameters under various soil conditions were obtained: the recommended depth of application of liquid manure for winged chisel paws is up to 36 cm; on soils with a specific resistance of 35 kPa at a speed of 0.6...0.8 m/s, the required tractor pulling force will be 70...72 kN. For the unit based on the K-744 tractor, the specific energy intensity of the technological process will be 46...47 kW h/ha, excluding the power of the pumping station for pumping liquid organic fertilizers through the hose system.

Keywords: *liquid organic fertilizers, intra-soil fertilization, chisel working tools, energy costs*

Citation. Panov, A.I., Aldoshin, N.V., Manokhina, A.A. and Semin, V.V. (2022), "Traction and energy calculation of implement for intra-soil application of organic fertilizers", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 158–171. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-158-171

Введение. Сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почв не только дает растениям оптимальные условия для роста и развития, но и обеспечивает питательный режим, раскрывая потенциальные способности сорта или гибрида, позволяющие снабжать сырьем сельское хозяйство, пищевую, комбикормовую и перерабатывающую промышленность [1; 2].

Доказано, что на гумус, как основную часть органического вещества почвы, оказывают влияние органические и минеральные удобрения, насыщенность севооборотов пропашными культурами, бобово-злаковыми травами и зернобобовыми культурами, включение в него чистого пара, уровень плодородия почвы, в том числе её биологическая активность, наличие и активность штаммов и групп микроорганизмов, не только фиксирующих азот атмосферы, но и разлагающих целлюлозу, лигнин и другие химические соединения, которые попадают в почву с растительными остатками [3].

Для этого необходимы новые подходы к использованию удобрений и повышению плодородия почвы, обеспечивающие высокую экологическую безопасность. Возникает достаточно большой круг вопросов, направленных на создание новых технологий и технических средств механизации внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений.

Для полной инфильтрации больших доз внесения (100 т/га и более) жидких органических удобрений пласты почвы на значительной глубине обработки должны быть тщательно разрыхлены. Поэтому для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений в качестве рабочих органов целесообразно использовать чизельные лапы с открьлками, обеспечивающие максимальные зоны поперечной деформации пластов почвы на большую глубину [4; 5].

Глубокое внутрипочвенное внесение удобрений сопряжено с большими энергозатратами. В связи с этим целесообразно произвести оценку затрат энергии при использовании таких технологий [6].

Цель исследования – обосновать методику расчета сил, действующих на чизельный глубокорыхлитель для внутрипочвенного внесения больших доз жидких органических удобрений, и провести оценку затрат энергии при работе машинно-тракторного агрегата для глубокого внутрипочвенного внесения жидкого навоза с использованием шланговых систем.

Материалы, методы и объекты исследования. Для реализации предложенной технологии разработана машина для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений (рис. 1). Технологический процесс работы орудия происходит следующим образом. По шланговой магистрали жидкие органические удобрения под давлением от насосной станции поступают к орудью через узел привязки. Далее через дроссель удобрения попадают в распределительное устройство, оснащенное измельчителем. Из него по трубопроводам удобрения подаются к рабочим органам в глубь почвенного пласта. Это обеспечивается за счет разрыхления почвы чизельными лапами. Конструкция орудия защищена тремя патентами [7; 8; 9].

При помощи чизельных лап происходит рыхление уплотненного, слежавшегося почвенного горизонта. В основе данного технологического процесса лежит резание почвы клином с плоской рабочей поверхностью, сводящееся к разрушению почвенного пласта путем сдвига (скалывания) на куски (стружку) трапецеидальной формы [10].

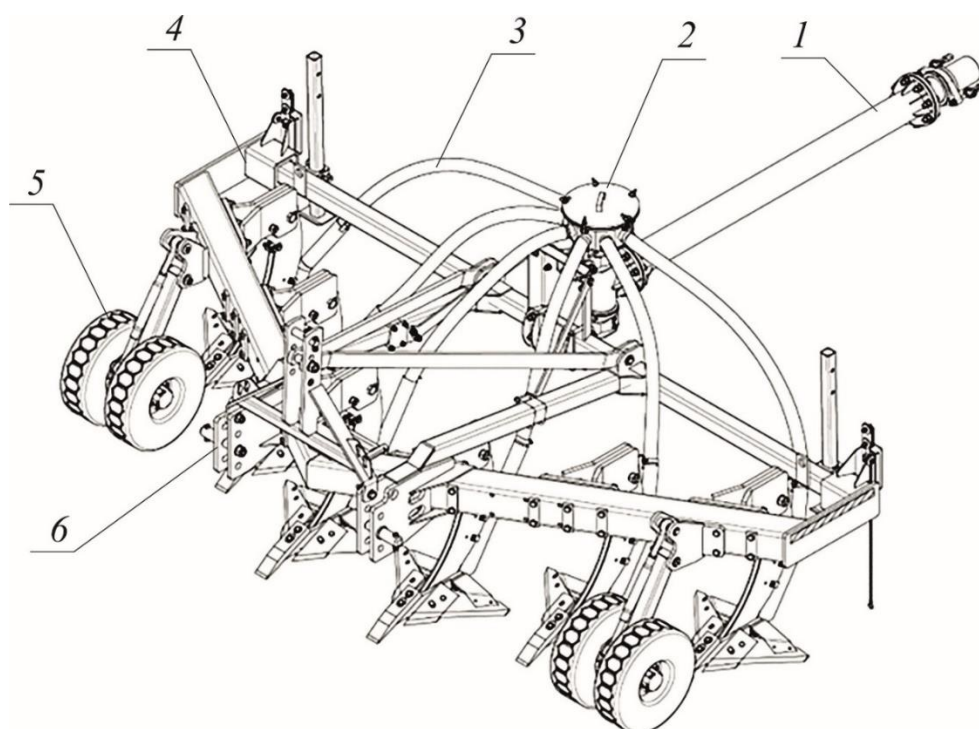


Рисунок 1. Чизельный глубокорыхлитель для внутрипочвенного внесения жидкого навоза:

1 – шланговая магистраль; 2 – распределительный узел жидких органических удобрений;

3 – распределительные шланги; 4 – рама с чизельными рабочими органами;

5 – опорные колеса; 6 – навесное устройство

Figure 1. Chisel subsoiler for liquid manure injection:

1 – hose line; 2 – distribution unit of liquid organic fertilizers; 3 – distribution hoses;

4 – frame; 5 – support wheels; 6 – mounting implement; 7 – chisel tines

Схема расположения колес и чизельных лап на раме орудия показана на рис. 2.

Распространение деформации почвы в стороны в поперечно-вертикальной плоскости ограничивается предельной глубиной обработки h_k , называемой критической [11]. Дальнейшее заглубление рабочего органа сопровождается смятием почвы в продольном направлении без увеличения зоны рыхления в поперечном направлении, поэтому превышение глубины а хода чизельных лап критической глубины нецелесообразно как с точки зрения увеличения поперечного сечения разрыхляемых пластов почвы, так и с учетом повышенного тягового сопротивления машины.

Возможны два режима работы чизельных лап глубокорыхлителя:

- 1) глубина обработки a не превышает критическую глубину h_k ;
- 2) глубина обработки a больше критической глубины h_k .

В первом случае поперечная зона рыхления имеет форму трапеции. Во втором случае зона бокового рыхления распространяется до глубины h_k , а ниже образуется прямоугольная щель глубиной $h_0 = a - h_k$, где h_0 – глубина блокированного резания без отделения почвенной стружки с боковых сторон лапы.

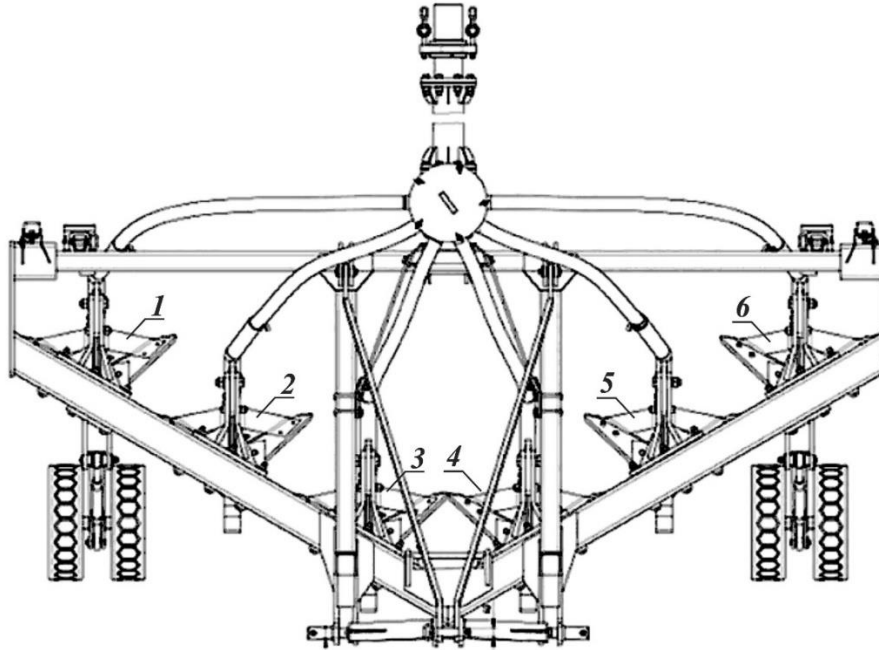


Рисунок 2. Схема расстановки чизельных лап с открывками на раме машины
 Figure 2. Scheme of arranging winged chisel tines on the implement frame

В зоне блокированного резания ниже критической глубины h_k образуется уплотненное ядро из-за большого давления, под действием которого почва сминается, сильно уплотняется и задерживается на наклонной рабочей поверхности.

На чизельных лапах рассматриваемой машины устанавливаются открывки для увеличения площади поперечного сечения пласта, разрыхляемого одной чизельной лапой. Заглубление таких рабочих органов на глубину больше критической нецелесообразно.

По результатам экспериментальных исследований [10] рекомендуется следующая эмпирическая зависимость для определения критической глубины резания чизельными лапами:

$$h_k = \frac{b_0 \left[0,1 \frac{p}{\sigma_{от}} (1 + 3 \operatorname{tg} \psi) \right] - 2,5}{4,2 + \operatorname{ctg} \alpha} \quad (\text{см}), \quad (1)$$

где b_0 – ширина долота, см; p – сопротивление почвы смятию (твердость почвы), МПа; $\sigma_{от}$ – временное сопротивление почвы отрыву, МПа; α – угол резания, °; ψ – угол наклона равнодействующей силы сопротивления почвы к горизонту, ° (рис. 3).

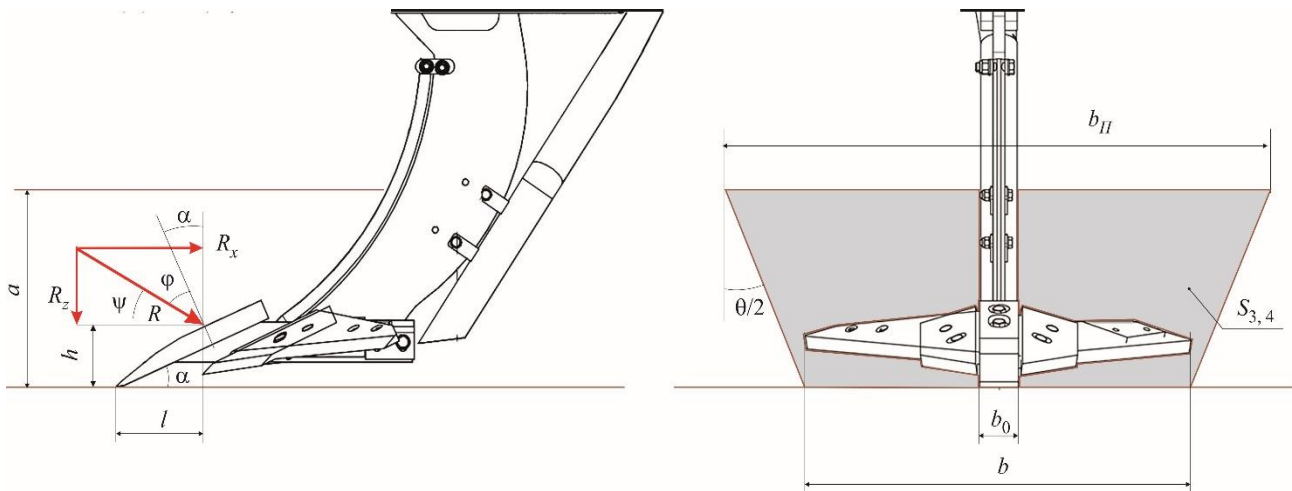


Рисунок 3. Поперечные и продольные зоны деформации почвы чизельной лапой
 Figure 3. Cross-section and longitudinal soil deformation zones by winged chisel tine

Площадь поперечного сечения пласта разрыхляемой почвы в виде трапеции может быть определена по формулам:

– для лап 3 и 4 (см. рис. 3)

$$S_{3,4} = (b + b_{II})a / 2 \text{ (м}^2\text{);} \quad (5)$$

– для лап 1, 2, 5, 6 (рис. 4)

$$S_{1,2,5,6} = Ma \text{ (м}^2\text{),} \quad (6)$$

где M – междуследие (расстояние между лапами) (м).

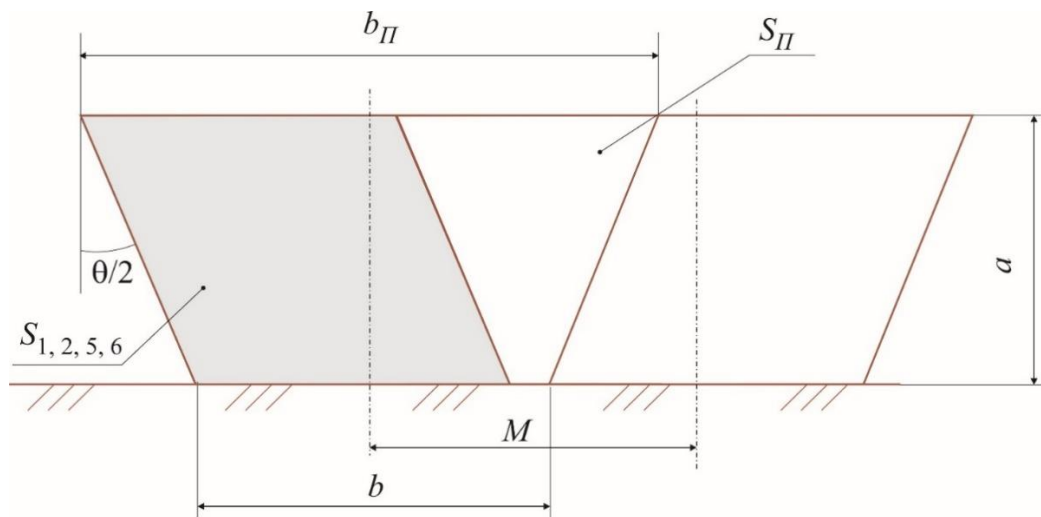


Рисунок 4. Схема определения поперечной площади рыхления при резании почвы двумя чизельными лапами

Figure 4. Cross-section and deformation zones of soil by two chisel tines

Рассматриваемые инжекторы жидкого навоза – чизельные лапы имеют значительное тяговое сопротивление и создают большие неровности на поверхности почвы, что требует дополнительных операций предпосевной подготовки, например, прикатывания. Для работы с чизельными глубокорыхлителями требуются энергонасыщенные тракторы.

В продольно-вертикальной плоскости реакции сил сопротивления почвы, действующие на чизельную лапу, приводятся к равнодействующей R_{xz} (см. рис. 3). Вертикальная проекция этой силы R_z характеризует способность лапы к заглублению в почву, а горизонтальная проекция R_x – тяговое сопротивление рабочего органа.

Направление и точка приложения равнодействующей силы R_{xz} определяются для чизельных лап углом ψ и плечами l и h относительно носка лапы.

Координаты точки приложения равнодействующей сил сопротивления почвы на лапе равны

$$\begin{cases} h = (0,3 \dots 0,5)a; \\ l = 0,5b. \end{cases} \quad (7)$$

Суммарное тяговое сопротивление чизельных лап может быть рассчитано по формуле, аналогичной формуле академика В.П. Горячкина для лемешно-отвальных плугов:

$$R_x = \sum_{i=1}^6 k_{\Pi} S_i + \varepsilon S_i v^2, \quad (8)$$

где k_{Π} – удельное сопротивление почвы, кПа; S_i – площадь поперечного сечения взрыхленной части пласта i -й лапой, m^2 ; ε – коэффициент ($kH \cdot c^2/m^4$), учитывающий рабочую скорость v , м/с.

Расчётная схема сил, действующих на глубокорыхлитель при работе с трактором, показана на рис. 5.

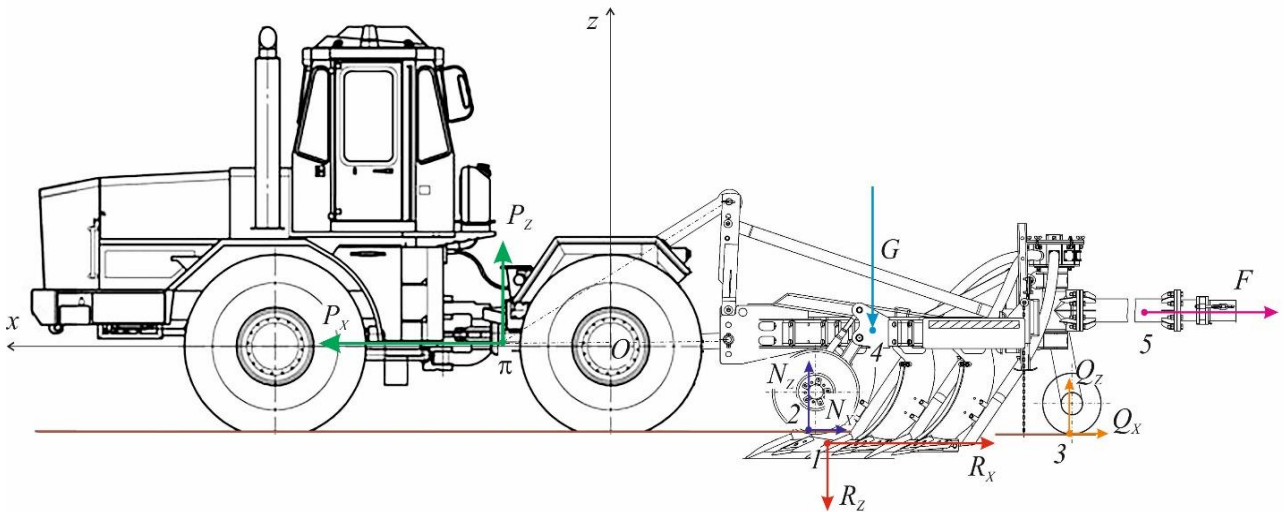


Рисунок 5. Схема для расчёта сил, действующих на глубокорыхлитель с трактором
 Figure 5. Diagram for determining forces acting on the chisel subsoiler with a tractor

Система уравнений равновесия машины в продольно-вертикальной плоскости xOz имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_i P_{xz i} = 0; \\ \sum_i M_{xz i} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

где $\sum_i P_{xz i}$ – сумма всех сил; $\sum_i M_{xz i}$ – сумма моментов всех сил относительно любой

точки механической системы «трактор + глубокорыхлитель».

При известных коэффициентах μ_2 и μ_3 сопротивления качению опорных колёс и катка по полю

$$\mu_2 = \frac{N_x}{N_z}; \quad \mu_3 = \frac{Q_x}{Q_z} \quad (10)$$

можно решить эту систему уравнений и определить четыре неизвестные силы P_x , P_z , N_z , Q_z . Для этого составим систему из четырех линейных уравнений (третье и четвертое уравнения – суммы моментов сил относительно точек 2 и 3 – приложения реакций на опорных колесах и катке:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_x - R_x - \mu_2 N_z - \mu_3 Q_z - F = 0; \\ P_z - R_z + N_z + Q_z - G = 0; \\ P_x(z_\pi + z_2) - P_z \cdot (x_\pi + x_2) - Q_z(x_3 - x_2) - G(x_4 - x_2) + R_x(z_1 - z_2) - R_z(x_1 - x_2) - F(z_2 + z_5) = 0; \\ P_x(z_\pi + z_3) - P_z \cdot (x_\pi + x_3) - N_z(x_3 - x_2) - G(x_3 - x_4) - R_x(z_1 - z_3) + R_z(x_3 - x_1) - F(z_2 + z_5) = 0 \end{array} \right. \quad (11)$$

где P_x и P_z – составляющие силы тяги трактора; N_x и N_z – реакции почвы, действующие на опорные колеса машины; Q_x и Q_z – составляющие реакции на опорной поверхности катка; R_x и R_z – реакции почвы, приложенные к условному «среднему» рабочему органу; $G = mg$ – сила тяжести машины; F – сила сопротивления перемещению шланга с жидким навозом; x_π, z_π – координаты мгновенного центра вращения трехточечного навесного устройства трактора в продольно-вертикальной плоскости xOz ; x_1, z_1 – координаты точки 1 – носка «среднего» рабочего органа; x_2, z_2 – координаты точки 2 приложения реакций на опорных колесах; x_3, z_3 – координаты точки 3 – приложения реакций на катке; x_4 – координата точки 4 – центра тяжести машины; z_5 – координата точки приложения силы сопротивления перемещению шланга. Значения сил – в килоньютонах, размеров – в метрах. Начало координат точка O совпадает с проекцией оси задних колёс трактора.

Сила сопротивления F перемещению шланга за глубокорыхлителем равна

$$F = f_T m_T g, \quad (12)$$

где f_T – коэффициент трения шланга о почву; $m_T = \rho V$ – масса шланга с жидким навозом, кг; ρ – плотность жидкого навоза, кг/м³; $V = \pi d^2 L / 4$ – объем жидкого навоза в шланге, м³; d и L – диаметр и длина шланга, м.

Для численного решения данной системы уравнений составлена программа в виде электронной таблицы для Microsoft Excel. Исходные данные для расчёта действующих сил приведен в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчётов сил, действующих на машину при работе с трактором К-744
 Table 1. Input data to calculate the forces acting on the implement with tractor K-744

Масса глубокорыхлителя, кг	m	3087,0
Число рабочих органов (лап)	n	6
Ширина захвата лапы, м	b	0,8
Ширина долота, м	b_0	0,05
Удельное сопротивление почвы, кПа	k_{Π}	30...60
Рабочая скорость, м/с	v	0,2...0,8
Угол крошения рабочего органа, °	α	5...40
Угол трения почвы по стали, °	φ	15...35
Угол внутреннего трения почвы, °	φ_{Π}	15...35
Коэффициенты сопротивления перекачиванию: – колес глубокорыхлителя – катка	μ_2 μ_3	0,2 0,3

Продолжение таблицы 1.

Угол скалывания почвы поперечный, °	$\theta/2$	40...45
Коэффициент учета скорости, $\text{кН}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$	ε	2...3
Размеры шланга, м		
– длина	l	200
– диаметр	d	0,15
Коэффициент трения шланга по почве	f_T	0,25
Плотность жидкого навоза, $\text{кг}/\text{м}^3$	ρ	990

Результаты исследования. На основании проведенных расчетов по описанной выше математической модели можно получить целый ряд теоретических зависимостей параметров, характеризующих агротехнические и энергетические показатели работы машинно-тракторного агрегата.

В частности, на рис. 6 показана зависимость критической глубины h_K от угла α крошения чизельной лапы рассматриваемой конструкции.

Расчеты показывают, что для рассматриваемых чизельных лап максимальная критическая глубина резания почвы составляет $h_K = 36...38$ см при величине угла крошения (установки долота к горизонту) $\alpha = 25^\circ$.

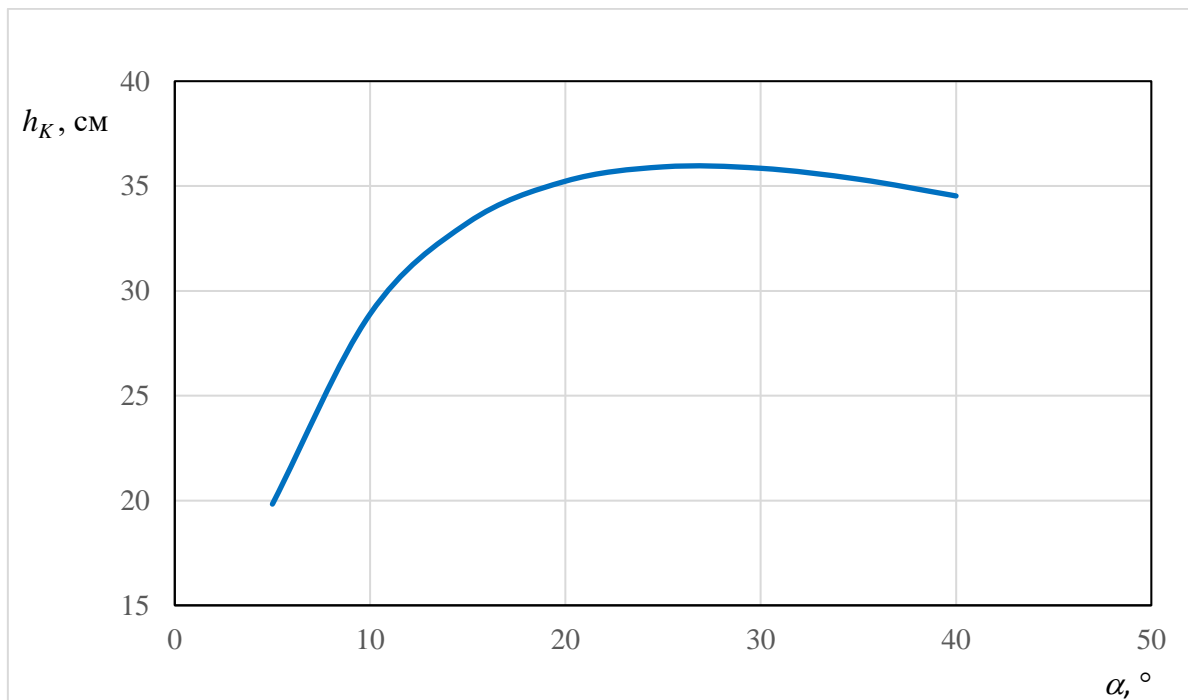


Рисунок 6. Зависимость критической глубины от угла крошения лапы
 Figure 6. Relationship between critical depth and the chisel pitch angle

На рис. 7 показана зависимость ширины $b_{П}$ полосы деформации почвы от глубины a установки лапы. Зная данную зависимость, можно определить площадь S_i поперечного сечения взрыхленной части пласта i -й лапой орудия.

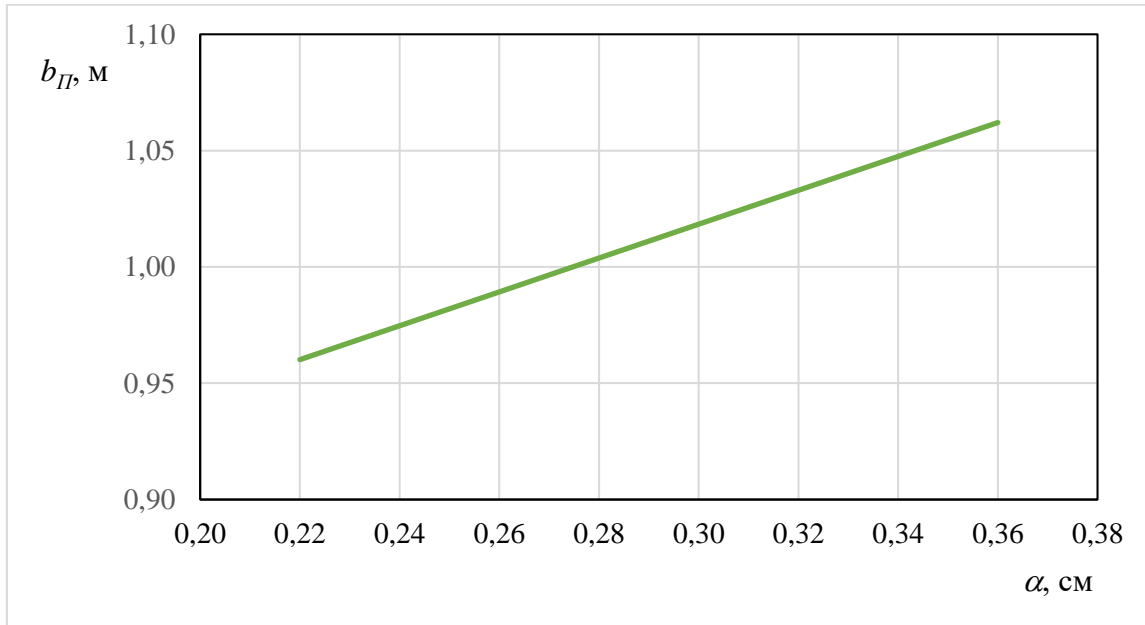


Рисунок 7. Зависимость ширины полосы деформации почвы от глубины установки чизельной лапы
 Figure 7. Relationship between the width of a soil deformation band and the depth of chisel tine

Пример расчетной зависимости тягового сопротивления P_x орудия от скорости v агрегата приведен на рис. 8.

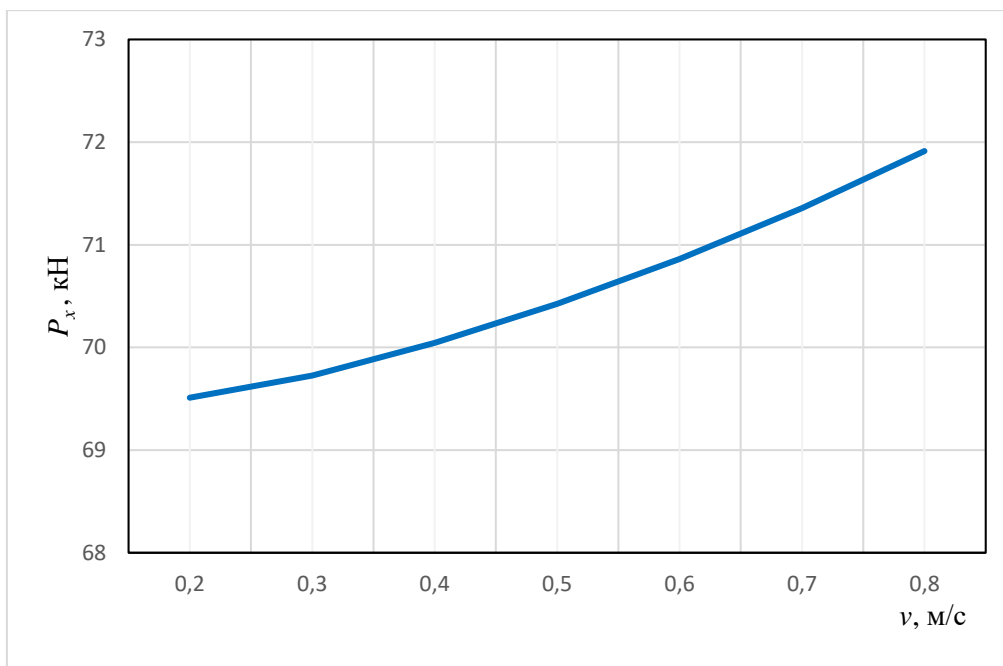


Рисунок 8. Зависимость тягового сопротивления орудия от рабочей скорости агрегата
 Figure 8. Relationship between the traction force and working speed

Потребная тяговая мощность трактора для работы с чизельным глубокорыхлителем при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений равна

$$N = P_x v, \text{ кВт}, \quad (13)$$

где P_x – сила тяги трактора, кН.

Удельная энергоёмкость выполнения технологического процесса равна

$$E_y = N / W, \text{ кВт}\cdot\text{ч/га}, \quad (14)$$

где $W = 0,36Bv$ – производительность агрегата за час чистого времени, га/ч; B – ширина захвата, м.

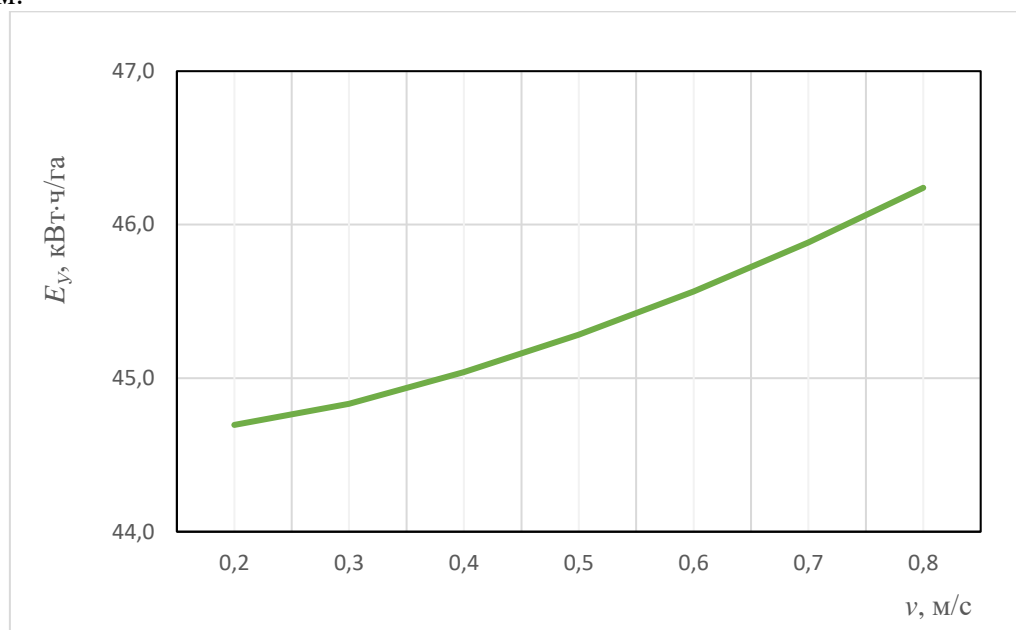


Рисунок 9. Зависимость удельной энергоёмкости от скорости агрегата
 Figure 9. Relationship between specific power consumption and unit speed

Пример расчетной зависимости удельной энергоёмкости E_y технологического процесса от скорости v показан на рис. 9.

Выводы

1. Разработана математическая модель для аналитического расчета сил, действующих на глубокорыхлитель в зависимости от удельного сопротивления почвы, глубины и скорости обработки, геометрических параметров конструкции орудия.

2. Для условий работы, заданных удельным сопротивлением почвы $k_{II} = 35$ кПа, глубиной установки лап $a = 36$ см и скоростью $v = 0,6...0,8$ м/с, потребное тяговое усилие трактора составляет $P_x = 70...72$ кН.

3. Расчеты показывают, что для агрегата на базе трактора К-744 с чизельным глубокорыхлителем при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений удельная энергоёмкость технологического процесса составит 46...47 кВт·ч/га без учета мощности насосной станции для прокачки навоза через шланговую систему.

Список источников литературы

1. Сельскохозяйственные машины / В.Е. Бердышев, Л.И. Ерошенко, А.Б. Калинин, М.А. Новиков, В.А. Ружьев, В.А. Смелик, И.З. Теплинский. – СПб.: Проспект Науки, 2022. – 316 с.
2. Development of the design and justification of the parameters of the distribution head of the pneumatic fertilizer seeder / V.N. Ednach, N.N. Romanyuk, V.A. Ageichik, M.N. Kalimullin, A.A. Orekhovskaya, D.N. Klyosov, V.A. Smelik // AIP Conference Proceedings. 2. Ser. "Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021". – 2022. – С. 030009. DOI: 10.1063/5.0092820.
3. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия / В.М. Косолапов, А.С. Цыгуткин, Н.В. Алдошин, Н.А. Лылин // Кормопроизводство, 2022. – № 3. – С. 41–47. – ISSN 1562-0417.
4. Алдошин, Н.В. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений при помощи шланговой системы / Н.В. Алдошин, В.Г. Евдокимов, В.В. Семин // Доклады ТСХА: сб. ст. – Вып. 293. – Ч. III / Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: Изд-во РГАУ–МСХА, 2021. – С. 246–248. – ISBN 978-5-9675-1835-5.
5. Ahmadi, I.A Power Estimator for an Integrated Active-Passive Tillage Machine / I. A. Ahmadi // Using the Laws of Classical Mechanics Soil and Tillage Research, 2017. – Vol. 171. – P. 1-8.

6. Алдошин, Н.В. Машины для внутрисочвенного внесения жидких органических удобрений / Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, В.В. Семин // Техника и оборудование для села, 2021. – № 1 (283). – С. 7–10. – ISSN 2072-9642. – DOI: 10.33267/2072-9642-2021-1-7-10.
7. Патент на полезную модель № 206217 Российская Федерация. Распределительное устройство для внесения жидких органических удобрений: № 2021109725; заяв. 8.04.2021, опубл. 31.08.2021 / Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, В.В. Семин; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.
8. Патент на полезную модель № 207487 Российская Федерация. Устройство для внесения жидких органических удобрений: № 2021115225, заяв. 27.05.2021, опубл. 29.10.2021 / Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, А.В. Дубчинский, В.В. Семин; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.
9. Патент на полезную модель № 208134 Российская Федерация. Устройство для внесения несепарированных жидких органических удобрений: № 2021115226, заяв. 27.05.2021; опубл. 06.12.2021 / Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, А.В. Дубчинский, В.В. Семин; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.
10. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбидно-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур / В.А. Милюткин, В.А. Шахов, Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков, Н.К. Комарова, В.А. Смелик // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (96). – С. 104-111.
11. Design and rationale for parameters of the seed-fertilizer seeder coulter for subsoil broadcast seeding / S.O. Nukeshev, N.A. Kakabaev, N.N. Romanyuk, I.P. Troyanovskaya, V.A. Smelik, S.A. Voinash // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. – Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. – С. 52010. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052010.
12. Дыба, Э.В. К обоснованию типа рабочего органа для внутрисочвенного внесения жидкого навоза / Э.В. Дыба, А.И. Бобровник // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / отв. ред. П.П. Казакевич, С.Г. Яковчик. – Минск: Ураджай, 2016. – Вып. 50. – С. 40–46.
13. Совершенствование методов мониторинга качества работы дозирующих систем машин химизации / А.Б. Калинин, И.З. Теплинский, В.А. Смелик, О.Н. Теплинская, И.С. Немцев // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 6. – С. 94–98.

References

1. Berdyshev, V.E., Eroshenko, L.I., Kalinin, A.B., Novikov, M.A., Ruzh'ev, V.A., Smelik, V.A., Teplinskij, I.Z. (2022), *Sel'skhozjajstvennye mashiny* [Agricultural machinery], SPb, Prospekt Nauki, 316 p. (In Russian)
2. Ednach, V.N., Romanyuk, N.N., Ageichik, V.A., Kalimullin, M.N., Orekhovskaya, A.A., Klyosov, D.N., Smelik, V.A. (2022), Development of the design and justification of the parameters of the distribution head of the pneumatic fertilizer seeder, *AIP Conference Proceedings*, 2, Ser. "Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021", p. 030009. DOI: 10.1063/5.0092820.
3. Kosolapov, V.M., Cygutkin, A.S., Aldoshin, N.V., Lylin, N.A. (2022), Agronomic fundamentals of engineering support for biologization of agriculture, *Kormoproizvodstvo*, no. 3, pp. 41–47, ISSN 1562-0417. (In Russian)
4. Aldoshin, N.V., Evdokimov, V.G., Semin, V.V. (2021), Vnutripochvennoe vnesenie zhidkih organicheskikh udobrenij pri pomoshhi shlangovoj sistemy [Intra-soil application of liquid organic fertilizers using a hose system], *Doklady TSHA: sb. st., Vyp. 293, Ch. III* [Reports of the TLC: sat. art.], Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – MSHA imeni K. A. Timirjazeva, Moskva, Izdvo RGAU–MSHA, pp. 246–248, ISBN 978-5-9675-1835-5. (In Russian)
5. Ahmadi, I.A (2017), Power Estimator for an Integrated Active-Passive Tillage Machine, *Using the Laws of Classical Mechanics Soil and Tillage Research*, vol. 171, pp. 1–8.
6. Aldoshin, N.V., Manohina, A.A., Semin, V.V. (2021), Machines for intra-soil application of liquid organic fertilizers, *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, no. 1 (283), pp. 7–10, ISSN 2072-9642. – DOI: 10.33267/2072-9642-2021-1-7-10. (In Russian)
7. *Patent na poleznuju model' № 206217 Rossijskaja Federacija. Raspreditel'noe ustrojstvo dlja vnesenija zhidkih organicheskikh udobrenij* [Distribution device for applying liquid organic fertilizers]:

- № 2021109725; заяв. 8.04.2021, opubl. 31.08.2021, N.V. Aldoshin, A.A. Manohina, V.V. Semin; заявитель FGBOU VO RGAU – MSHA imeni K.A. Timirjazeva. (In Russian)
8. *Patent na poleznuju model' № 207487 Rossijskaja Federacija, Ustrojstvo dlja vnesenija zhidkih organicheskikh udobrenij* [Device for applying liquid organic fertilizers], № 2021115225, заяв. 27.05.2021, opubl. 29.10.2021, N.V. Aldoshin, A.A. Manohina, A.V. Dubchinskij, V.V. Semin; заявитель FGBOU VO RGAU – MSHA imeni K.A. Timirjazeva. (In Russian)
 9. *Patent na poleznuju model' № 208134 Rossijskaja Federacija. Ustrojstvo dlja vnesenija neseparirovannykh zhidkih organicheskikh udobrenij* [Device for applying unseparated liquid organic fertilizers]: № 2021115226, заяв. 27.05.2021; opubl. 06.12.2021, N.V. Aldoshin, A.A. Manohina, A.V. Dubchinskij, V.V. Semin; заявитель FGBOU VO RGAU – MSHA imeni K.A. Timirjazeva. (In Russian)
 10. Miljutkin, V.A., Shahov, V.A., Asmankin, E.M., Ushakov, Ju.A., Komarova, N.K., Smelik, V.A. (2022), Research of innovative technologies, machinery and liquid mineral fertilizers based on a carbide-ammonia mixture in the cultivation of agricultural crops, *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 4 (96), pp. 104–111. (In Russian)
 11. Nukeshev, S.O., Kakabaev, N.A., Romanyuk, N.N., Troyanovskaya, I.P., Smelik, V.A., Voinash, S.A. (2021), [Design and rationale for parametres of the seed-fertilizer seeder coulter for subsoil broadcast seeding], *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russian Federation*, p. 52010, DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052010.
 12. Dyba, Je.V., Bobrovnik, A.I. (2016), K obosnovaniju tipa rabocheho organa dlja vnutripochvennogo vnesenija zhidkogo navoza [To substantiate the type of working body for intra-soil application of liquid manure], in Kazakevich P.P. and Jakovchik S.G. (red.), *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva: mezhvedomstvennyj tematicheskij sbornik* [To substantiate the type of working body for intra-soil application of liquid manure], Minsk, Uradzhaj, vol. 50, pp. 40–46. (In Russian)
 13. Kalinin, A.B., Teplinskij, I.Z., Smelik, V.A., Teplinskaja, O.N., Nemcev, I.S. (2022), Improvement of methods for monitoring the quality of work of dosing systems of chemicalization machines, *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, no. 6, pp. 94–98. (In Russian)

Сведения об авторах

Панов Андрей Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», spin-код: 3511-1082, Scopus author ID: 57221478540, Researcher ID: AAD-5456-2022.

Алдошин Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», spin-код, 6032-9021, Scopus author ID: 5719413129, Researcher ID: AAD-6548-2022.

Манохина Александра Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», spin-код:, 5377-5938, Scopus author ID: 57204156373, Researcher ID: AAX-3297-2020.

Семин Валентин Владимирович – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Information about the authors

Andrey I. Panov – Candidate of Technical Sciences, docent, docent of the Department of agricultural machinery, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spin-code: 3511-1082, Scopus author ID: 57221478540, Researcher ID: AAD-5456-2022.

Nikolay V. Aldoshin – Doctor of Technical Sciences, professor, chief of the Department of agricultural machinery, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spin-code: 6032-9021, Scopus author ID: 5719413129, Researcher ID: AAD-6548-2022.

Aleksandra A. Manokhina – Doctor of Agricultural Sciences, docent, professor of the Department of agricultural machinery, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spin-code:5377-5938, Scopus author ID:57204156373, Researcher ID: AAX-3297-2020.
Valentin V. Semin – postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Conflict of interest. The authors state that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; одобрена после рецензирования 24.11.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 23.09.2022; approved after reviewing 24.11.2022; accepted after publication 14.12.2022

Научная статья

УДК 621.313

doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-171-183

СТРУКТУРА И СОСТАВ ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОДЪЕМОМ ВОДЫ И ПОЛИВОМ ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ КРУГОВЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

Алексей Георгиевич Черных

Иркутский государственный аграрный университета им. А.А. Ежевского, пос. Молодежный,
Иркутский район, Иркутская область, 664038, Россия; kandida2006@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

Реферат. В статье рассмотрена схема построения закрытой оросительной системы способом дождевания с механическим подъемом воды от открытого с природным водным потоком источника, удаленного на значительное расстояние от места орошения. Наличие транспортного запаздывания на процесс движения воды от источника к месту полива вносит существенные ограничения по управлению расходом воды. Один из возможных технических способов устранения данного запаздывания между источником и дождевальной машиной заключается в установке в зоне полива водой накопительных резервуаров. Наличие в структуре системы резервуара позволяет технически изменить систему ее подачи не только к дождевальным машинам, но и в сегментированные участки по всей площади орошения. Такой способ подачи воды позволит в полевых условиях в режиме реального времени динамически управлять данным процессом. Целью данной статьи является теоретическое и практическое исследование работы предложенной структуры оросительной системы с учетом влияния различных возмущающих факторов. Для достижения цели исследования представленный в статье теоретический и практический материал направлен на решение ряда задач. Во-первых, пояснена целесообразность включения в трубопроводную систему накопительного резервуара двух центробежных насосов. Во-вторых, теоретически обосновывается необходимость дополнительного трубопровода. В-третьих, с использованием предложенной баллистической теории полета капли поясняется методика практического использования получаемых с ее помощью результатов применительно к геометрическим и энергетическим параметрам капли и дальнейшее их приведение к целевым значениям с помощью насосного и регулируемого

запорного оборудования системы. В-четвертых, в полевых условиях экспериментально исследована работа составляющих элементов и узлов системы, а также опытным путем проверена достоверность основных выкладок баллистической теории. Результаты проведенных исследований подтверждают работоспособность предложенной структуры закрытой оросительной системы для заявленных целей управления параметрами полива в заданной геометрии и климатических характеристиках в квазиустановившихся режимах работы.

Ключевые слова: закрытая система орошения, дождевальная машина, дождевальная головка, накопительный резервуар, центробежный насос, искусственный дождь, капля, почва, увлажнение

Цитирование. Черных А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения с механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 171–183. doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-171-183

STRUCTURE AND COMPOSITION OF A CLOSED IRRIGATION SYSTEM WITH MECHANICAL WATER LIFTING AND IRRIGATION BY WIDE-REACH CIRCULAR SPRINKLER MACHINES

Alexey G. Chernykh

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk Region, 664038, Russia; kandida2006@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

Abstract. The article considers the scheme of construction of a closed irrigation system by sprinkling with mechanical lifting of water from an open source with natural water flow, remote at a considerable distance from the place of irrigation. The presence of a transport delay during the movement of water from the source to the watering place imposes significant restrictions on the management of water flow. One of the possible technical ways to eliminate this delay between the source and the sprinkler machine is to install storage tanks in the irrigation zone. The presence of a reservoir in the structure of the system allows technically changing the system of its supply not only to sprinklers, but also to segmented areas throughout the irrigation area. This method of water supply will allow you to control dynamically this process in the field in real time. The purpose of this article is a theoretical and practical study of the proposed structure of the irrigation system, taking into account the influence of various disturbing factors. To achieve the research goal, the theoretical and practical material presented in the article is aimed at solving a number of tasks. Firstly, the expediency of including two centrifugal pumps in the pipeline system of the storage tank is explained. Secondly, the need for an additional pipeline is theoretically justified. Thirdly, using the proposed ballistic theory of the droplet flight, the methodology of practical use of the results obtained with its help is explained in relation to the geometric and energy parameters of the droplet and their further reduction to target values using pumping and regulated shut-off equipment of the system. Fourth, in the field, the operation of the components and components of the system was experimentally investigated, as well as the reliability of the basic calculations of the ballistic theory was experimentally verified. The results of the conducted studies confirm the operability of the proposed design of a closed irrigation system for the stated purposes of controlling irrigation parameters in a given geometry and climatic characteristics in quasi-stationary operating modes.

Keywords: closed irrigation system, sprinkler machine, sprinkler head, storage tank, centrifugal pump, artificial rain, drop, soil, humidification

Citation. Chernykh, A.G., (2022), "Structure and composition of a closed irrigation system with mechanical water lifting and irrigation by wide-reach circular sprinkler machines", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 69, no. 4, pp. 171–183. (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2022-4-171-183

Введение. Спринклерный полив, как способ орошения с переменной глубиной и высокими уровнями автоматизации и управления, включен в спектр технологий точного земледелия [1]. Как правило, спринклерный полив на конечном этапе осуществляется путем управления концевыми пушками, при угловом регулировании точек запуска и остановки и последовательном расположении дождевальных головок (распылителей) в системах центрального поворота с угловыми рычагами [2]. Самоходные многоопорные широкозахватные круговые, работающие в движении дождевальные машины, спроектированы и, как правило, эксплуатируются таким образом, чтобы как можно более равномерно по полю восполнять среднее количество воды, израсходованной культурой за определенный период времени. Высокая частота поливов с помощью этих машин потенциально снижает величину изменчивости содержания воды в почве на поле. Однако стохастическая пространственная и временная изменчивость ряда взаимосвязанных факторов, таких как параметры инфильтрации почвы, глубина внутрпочвенного стока, неравномерность выпадения атмосферных осадков и т. д., может оказывать существенное влияние на рост урожая в течение вегетационного периода [3]. Следовательно, при проектировании ирригационной системы необходимо учитывать, по крайней мере, часть этой пространственной и временной изменчивости, например, предусмотреть возможность ее работы в автоматизированном режиме. В этом случае в структуре системы нужно запроектировать применение различного рода устройств, как правило, цифровых датчиков водного потенциала почвы и оптических приборов для измерения параметров частиц осадков искусственного и естественного происхождения [4]. Кроме того, на каждой спринклерной головке необходимо предусмотреть возможность их конструктивной фиксации с клапаном регулировки расхода, изменяющим в процессе работы объем подачи воды с помощью различных форм импульсной модуляции (циклическое включение–выключение оросителя) для текущей глубины полива [5]. Другой путь учета отмеченных выше факторов основан на непосредственном изменении самой системы орошения как по структуре, так и по составу [6]. При этом изменения в периферийное оборудование, связанное функционально с работой бокового «дождевального» поливного трубопровода машины, не вносятся. Изменяется состав системы, касающийся установки высокоэффективного насосного оборудования, которое в процессе работы позволит снизить ненужные потери при перекачке, а с учетом наличия системы автоматических клапанов в трубопроводах технически обеспечит компьютеризированное планирование поливом и управление ирригационной нагрузкой.

Цель и задачи исследования – для схемы посадки в месте орошения разработать структуру и состав закрытой системы орошения с механическим подъемом воды и поливом способом дождевания и доказать эффективность работы схемы для обеспечения показателей «эффективного орошения» по производительности, равномерности подачи воды и относительной скорости инфильтрации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) теоретически обосновать необходимость практического применения предложенной структуры оросительной системы для выбранного типа дождевальной техники;
- 2) объяснить с точки зрения алгоритма работы схемы полива ее состав и назначение имеющегося трубопроводного и насосного оборудования, включая герметичный сосуд;
- 3) доказать теоретически возможность работы предложенной схемы орошения для динамического управления процессом полива при любой интенсивности дождя, с одновременным учетом его энергетических характеристик;
- 4) выявить особенности работы насосного оборудования для предложенной схемы орошения в полевых условиях.

Материалы, методы и объекты исследований. При выращивании овощных культур планирование полива и управление ирригационной нагрузкой требуются на всех межфазных периодах вегетации: массовых входов, вегетативного и продуктивного роста.

Полив с точки зрения процесса, требующего управления, подвержен воздействию статических и динамических возмущающих факторов, как правило, природного характера, таких как неоднородность почвенного покрова, обусловленная ее микрорельефом, и соответствующая ему по площади неравномерность распределения тепла и давления. По этой причине использование большинства способов полива в системах орошения не позволяет обеспечить его конечную цель, связанную с равномерностью увлажнения почвы. Сказанное выше в полной мере относится к методологии использования при поливе различных типов дождевальной техники, в том числе широкозахватных круговых дождевальных машин (ШКДМ). Один из возможных путей обеспечения равномерности увлажнения при использовании ШКДМ связан с расширением ее эксплуатационных возможностей, являющихся следствием внесения изменений в структуру и перечень элементов сети. По структуре данное изменение связано с введением в систему накопительного резервуара воды. По составу элементов изменение системы связано с введением системы дополнительного разборного трубопровода. Дополнительный трубопровод из ПВХ подключается к основному напорному трубопроводу (поз. 1, рис. 1) в районе центральной башни (поз. 2, рис. 1) с помощью электромагнитного клапана с регулятором расхода. Дополнительный трубопровод крепится поверх трубопровода ШКДМ. В свою очередь, к данному трубопроводу подключаются многофункциональные разбрызгиватели фирмы Nelson D3000 с желтой стационарной распылительной пластиной (рис. 2). Расстояние между линиями разбрызгивателей составляет 1,7 м, а высота от поверхности почвы 0,4 м.



Рисунок 1. Центральная башня дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company:
 1 – напорный трубопровод; 2 – фланец присоединения дополнительного трубопровода
 Figure 1. The central tower of the sprinkler machine of the T-L Irrigation company: 1– pressure pipeline; 2 – flange connection of the additional pipeline



Рисунок 2. Поворотный многофункциональный разбрызгиватель фирмы Nelson серии D3000 с распылительной головкой
 Figure 2. Rotary multifunctional sprayer of the Nelson's D3000 series with a spray head

Подводящий трубопровод от источника водоснабжения к напорному трубопроводу ШКДМ с точки зрения управления расходом перекачиваемой воды представляет собой объект

управления с запаздыванием [7]. При этом величина расхода воды в трубопроводе описывается дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{K_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}}}{\rho \cdot D_{\text{тр}}^{4,87}} \cdot Q^{1,85} + \frac{g \cdot S_{\text{тр}}}{l_{\text{тр}}} \cdot h_1(t - \tau_{\text{т}}) - \frac{g \cdot S_{\text{тр}}}{l_{\text{тр}}} \cdot h_2(t), \quad (1)$$

где Q – расход воды на выходе трубопровода, м³/с; h_1 и h_2 – гидростатические давления воды на концах трубопровода, м; $l_{\text{тр}}$ – длина трубопровода, м; $D_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода, м; $K_{\text{тр}}$ – коэффициент потерь на трение в трубопроводе, б/р; ρ – плотность воды, кг/м³; $\tau_{\text{т}}$ – постоянное запаздывание по управлению, сек; $S_{\text{тр}}$ – площадь трубопровода, м².

Время транспортного запаздывания $\tau_{\text{т}}$ определяется из выражения для условной постоянной времени T_a :

$$T_a = \frac{S_{\text{тр}} \cdot H}{Q_{\text{max}}} = 2 \cdot \tau_{\text{т}}, \quad (2)$$

где H – общий напор в подводящем трубопроводе, м; Q_{max} – максимальное значение расхода в трубопроводе, м³/с.

Очевидно, что включение накопительного резервуара переносит функционально точку управляющего воздействия по величине расхода воды из съемной точки локализации, связанной с местом расположения насосного оборудования у источника водоснабжения, к группе насосов, которые входят в схему циркуляции воды в трубопроводах, в том числе напорного трубопровода ШКДМ, и связаны с накопительным резервуаром.

Расчетная схема закрытой системы орошения, приведенная на рис. 3, по структуре и составу позволяет на практике в процессе работы обеспечить заявленные в целях исследования показатели «эффективного орошения» в категории точного земледелия.

Принцип работы схемы подачи воды на границе подводящего трубопровода к накопительному резервуару (см. рис. 3) удовлетворяет следующим алгоритмическим правилам:

1. Для заданной величины $Q_{\text{вход}}$ в диапазоне от $(0,8 \div 1,0) Q_{\text{вход. max}}$ подача воды в основной трубопровод ДМ осуществляется с помощью ЦН (поз. 3, рис. 3). Клапаны №₁, №₂ и №₂ открыты, клапан №₃ закрыт. Уравнение материального баланса имеет вид

$$Q_{\text{вход}} = Q_{\text{выход2}}.$$

При уменьшении величины расхода в точке водозабора до $Q_{\text{вход}\downarrow}$ открывается клапан №₂. Коэффициенты истечения клапанов m_2 и m_4 регулируются таким образом, чтобы на время транспортного запаздывания $\tau_{\text{т}\downarrow}$ соблюдалось уравнение материального баланса вида

$$\frac{dQ_{\text{вход}\downarrow}}{dt_{\tau_{\text{т}\downarrow}}} = Q_{\text{вход}\downarrow} - Q_{\text{выход2}\downarrow} - Q_{\text{ГЦН}\downarrow} \quad (3)$$

Коэффициент m_2 за время $\tau_{\text{т}\downarrow}$ уменьшается от некоторого расчетного значения до нуля. Тогда по истечении времени $\tau_{\text{т}\downarrow}$ клапан №₂ закрывается и уравнение (3) примет вид

$$Q_{\text{вход}\downarrow} = Q_{\text{выход2}\downarrow} \quad (4)$$

Необходимо отметить, что на протяжении интервала времени, равного $\tau_{\text{т}\downarrow}$, насос ЦН (поз. 2, рис. 3) работает от преобразователя частоты (ПЧ), с помощью которого осуществляется регулирование величины расхода $Q_{\text{ГЦН}\downarrow}$. По окончании процесса регулирования $Q_{\text{ГЦН}\downarrow} = 0$.

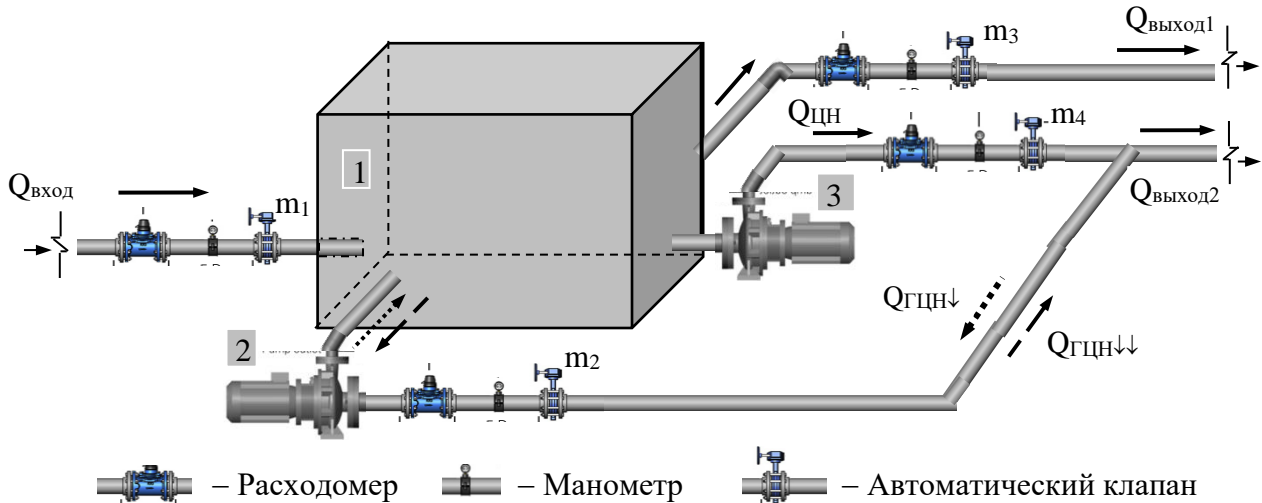


Рисунок 3. Фрагмент схемы закрытой оросительной системы с герметичным сосудом и динамическими лопастными насосами: 1 – накопительный резервуар (НР); 2 – центробежный герметичный насос (ЦГН); 3 – центробежный насос (ЦН); $Q_{\text{вход}}$ – расход воды от источника водоснабжения (л/сек); $Q_{\text{выход1}}$ – расход воды в дополнительном трубопроводе дождевальной машины (л/сек); $Q_{\text{выход2}}$ – расход воды в основном трубопроводе дождевальной машины (л/сек); $Q_{\text{ЦН}}$ – расход воды в ЦН (л/сек); $Q_{\text{ГЦН}}$ – расходы воды в ЦГН (л/сек); $m_1 \div m_4$ – коэффициент истечения клапана (б/р)

Figure 3. Diagram fragment of a closed irrigation system with a sealed tank and dynamic paddle pumps: 1 – storage tank (NP); 2 – centrifugal sealed pump (CGN); 3 – centrifugal pump (CN); Q_{Input} – water flow from a water supply source (l/sec); $Q_{\text{Output 1}}$ – flow water in the additional pipeline of the sprinkler machine (l/sec); $Q_{\text{Output 2}}$ – water flow in the main pipeline of the sprinkler machine (l/sec); Q_{CN} – water flow in the CN (l/sec); Q_{CGN} – water flow in the CGN (l/sec); $m_1 \div m_4$ – the flow rate of the valve (b/r)

2. Если величина расхода $Q_{\text{вход}\downarrow}$ соответствует диапазону от $(0,4 \div 0,8) Q_{\text{вход, max}}$, то подача воды в основной трубопровод ДМ осуществляется с помощью ЦН (поз. 3, рис. 3) и ГЦН (поз. 2, рис. 3).
- 3). Динамическое уравнение материального баланса за время τ_{\downarrow} определяется выражением

$$\frac{dQ_{\text{вход}\downarrow}}{dt_{\tau_{\downarrow}}} = Q_{\text{вход}\downarrow} - Q_{\text{выход2}\downarrow} - Q_{\text{ГЦН}\downarrow} \quad (5)$$

За счет гидростатического напора, создаваемого массой воды в НР (поз. 1, рис. 3), насос ГЦН (поз. 2, рис. 3) с величиной расхода $Q_{\text{ГЦН}\downarrow}$ работает в обратном турбинном режиме, при котором вырабатываемая им электроэнергия может аккумулироваться в виде автономного источника энергии требуемого класса напряжения [8]. Величина расхода $Q_{\text{ЦН}\downarrow}$ насоса ЦН (поз. 1, рис. 3) регулируется с помощью ПЧ. В процессе регулирования клапаны №1, №2 и №4 открыты, клапан №3 закрыт. Цель регулирования определяется двумя уравнениями: $Q_{\text{ГЦН}\downarrow} = 0$ и $Q_{\text{вход}\downarrow} = Q_{\text{выход2}\downarrow}$.

3. При включении в работу дополнительного трубопровода в правые части уравнений (3) и (5) добавится вычитаемое вида $Q_{\text{выход1}}$, а сами уравнения будут определяться тождеством

$$\frac{dQ_{\text{вход}}}{dt_{\tau}} = Q_{\text{вход}} - Q_{\text{выход1}} - Q_{\text{выход2}} - Q_{\text{ГЦН}} \quad (6)$$

В начальный момент времени все четыре клапана находятся в открытом состоянии. В дальнейшем их конечное состояние вытекает из целей регулирования для диапазонов изменения $Q_{\text{вход}}$, но по окончании процесса клапан №2 закрыт. По аналогии с п. 1 и п. 2 цель регулирования определяется двумя уравнениями: $Q_{\text{ГЦН}} = 0$ и $Q_{\text{вход}} = Q_{\text{выход1}} + Q_{\text{выход2}}$.

Совместная эксплуатация ШКДМ фирмы T-L Irrigation company и клапанов регулирования расхода в трубопроводах обеспечивает в случае необходимости возможность автоматического управления поливом с использованием соответствующих контроллеров. Наличие контроллера позволяет учитывать и существенно минимизировать потери воды на сток, глубокую фильтрацию и ветровой дрейф, а также потери на испарение. При этом потери

на испарение и дрейф являются основным источником потерь в системах дождевальной техники. Для ШКДМ с точкой отсчета относительно верхней части центральной поворотной трубы данные потери варьируются от 2–5% для распыления на низкой высоте и 15–20% для распыления на средней высоте. Поэтому оценка дрейфа ветра и потерь на орошении при организации самого процесса полива очень важна с точки зрения достижения заданных показателей в категории «эффективного орошения».

Применение аппарата математической физики к явлениям массопереноса и теплопередачи в сочетании с теорией баллистики капель позволяет учесть влияние ветра на пройденное расстояние и, в конечном счете, время полета капли, а также оценить текущую энергию капли, от величины которой зависит скорость инфильтрации и переувлажнения почвы.

Кинетическая энергия аэрозольных капель на единицу массы на основе отношения диаметра сопла к напору определяется выражением

$$E_{\text{кин.}} = k_0 + k_1 \cdot \frac{D_{\text{сопла}}^{k_2}}{H_{\text{сопла}}^{k_3}} + V_{\text{ветра}}^{1.5} \quad (7)$$

где $E_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия, кДж/кг; $D_{\text{сопла}}$ – диаметр сопла, мм; $H_{\text{сопла}}$ – напор сопла, м; $V_{\text{ветра}}$ – скорость ветра, м/с; k_0 , k_1 , k_2 и k_3 – константы регрессии [9].

Уравнение (7), приведенное к единице орошаемой площади, будет иметь вид:

$$E(t)_{\text{кин.}} = \left(k_0 + k_1 \cdot \frac{D_{\text{сопла}}^{k_2}}{H_{\text{сопла}}^{k_3}} + V_{\text{ветра}}^{1.5} \right) \cdot \frac{Q(t)_{\text{форс.}} \cdot t_{\text{орош.}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{S_{\text{орош.}}}, \quad (8)$$

где $E(t)_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия капли на единицу площади, кДж/кг; $S_{\text{орош.}}$ – площадь орошения, м²; $t_{\text{орош.}}$ – время орошения, с; $Q(t)_{\text{форс.}}$ – производительность форсунки, м³/с; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, кг/м³.

В свою очередь, кинетическая энергия капли $E_{\text{кин}}$ на единицу площади пропорциональна ее скоростному напору, или квадрату результирующей скорости, т. е.

$$E(t)_{\text{кин.}} = \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot d \cdot v(t)_{\Sigma \text{расч.}}^2}{2}, \quad (9)$$

где $v(t)_{\Sigma \text{расч.}}$ – расчетная скорость падения капли, м/с; d – глубина полива, м.

Учитывая тождественность выражений (8) и (9), выведем расчетное значение скорости капли:

$$v(t)_{\Sigma \text{расч.}} = \sqrt{\frac{2}{d} \cdot \left(k_0 + k_1 \cdot \frac{D_{\text{сопла}}^{k_2}}{H_{\text{сопла}}^{k_3}} + V_{\text{ветра}}^{1.5} \right) \cdot \frac{Q(t)_{\text{форс.}} \cdot t_{\text{орош.}}}{S_{\text{орош.}}}}. \quad (10)$$

Выражение (9) тождественно выражению вида

$$E(t)_{\text{кин.}} = \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot R \cdot T \cdot v(t)_{\text{расч.}}^2}{2}, \quad (11)$$

где $E(t)_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия капли, кг/с; R – норма объема полива для заданной культуры, м³/га; T – время орошения ШКДМ, с.

В этом случае величину скорости движения капли воды в воздухе целесообразно вычислять с учетом переменной массы самой капли, а именно

$$v(t)_{\text{расч.}} = v_0 \cdot e^{-\frac{3 \cdot f_0}{v_1 \cdot v_0} \cdot \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{v_1}{m_0} \cdot t}\right)}, \quad (12)$$

где m_0 – начальная масса капли, г; v_1 – скорость испарения капли в воздухе, г/с; v_0 – начальная скорость капли на выходе дождевального аппарата, см/с; f_0 – сила трения капли о воздух, дин.

Диаметр капли определяется выражением

$$d_{\text{капли}} = 300 \cdot 1,515 \sqrt{d_{\text{струи}}} \cdot 6,8 \sqrt{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 2,94 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}} \cdot \frac{1}{13,64 \sqrt{\rho_{\text{возд.}}} \cdot 1,88 \sqrt{V_{\text{струи}}}}, \quad (13)$$

где $d_{\text{капли}}$ – диаметр капли, мм; $d_{\text{струи}}$ – диаметр струи (равен диаметру отверстия перфорации щелевой форсунки спринклера), мм; $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,001$ динамическая вязкость воды, Па·с; $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 0,05$ коэффициент поверхностного натяжения воды, Дж/м²; $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$ плотность воды, кг/м³; $\rho_{\text{возд.}} = 1$ плотность воздуха, кг/м³; $V_{\text{струи}}$ – скорость струи воды на выходе спринклера, м/с.

Относительная скорость инфильтрации может быть определена выражением [10]:

$$I_r = 1 - 0,0354 \cdot d_{50}^{0,683} \cdot v(t)_{\Sigma \text{расч.}}^{1,271} \cdot S_a^{-0,353} \cdot S_i^{0,237}, \quad (14)$$

где I_r – скорость инфильтрации для голой почвы по отношению к защищенной почве, десятичная дробь; d_{50} – объемный медианный размер капли, мм; $v(t)_{\Sigma \text{расч.}}$ – расчетная скорость средней объемной капли, м/с; S_a – содержание песка в почве, %; S_i – содержание ила в почве, %.

Рассмотрим работу схемы (см. рис. 3) для режима полива, требующего уменьшения скорости капли. Положим, что по условиям полива не нужно подключение дополнительного трубопровода. Тогда, с учетом обозначений, принятых на рис. 3, разность давлений на концах основного трубопровода ШКДМ может быть определена решением уравнения вида

$$\frac{1000 \cdot Q(t)_{\text{выход2}}}{\pi \cdot R_{\text{труб.}}^2} = \frac{\Delta p_{\text{труб.}}}{6 \cdot l_{\text{труб.}} \cdot \mu_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot R_{\text{труб.}}^2, \quad (15)$$

где $l_{\text{труб.}}$ – длина главного трубопровода ШКДМ, м; $R_{\text{труб.}}$ – радиус трубопровода, м; $\Delta p_{\text{труб.}}$ – разность давлений на концах трубопровода, м; $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ – динамическая вязкость воды, Па·с.

В свою очередь, перепад давления $\Delta p_{\text{труб.}}$ при длине отверстия перфорации спринклера, равного диаметру струи $d_{\text{струи}}$, соответствует скоростному напору, т. е.

$$\Delta p_{\text{труб.}} = \frac{v(t)_{\Sigma}^2 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{2}. \quad (16)$$

Выражение (14) с учетом выражения (15) для скорости $v(t)_{\Sigma}$ примет вид

$$v(t)_{\Sigma} = \sqrt{\frac{12000 \cdot Q(t)_{\text{выход2}} \cdot l_{\text{труб.}} \cdot \mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\pi \cdot R_{\text{труб.}}^4 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}}. \quad (17)$$

Поскольку цель регулирования заключается в соблюдении равенства $v(t)_{\Sigma} = v(t)_{\Sigma \text{расч.}}$, с учетом (10) и (16) получим

$$Q(t)_{\text{выход2}} = \frac{\pi \cdot R_{\text{труб.}}^4 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{6000 \cdot d_{\text{струи}} \cdot \mu_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \left(k_0 + k_1 \cdot \frac{D_{\text{сопла}}^{k_2}}{H_{\text{сопла}}^{k_3}} + V_{\text{ветра}}^{1,5} \right) \cdot \frac{Q(t)_{\text{форс.}} \cdot t_{\text{орош.}}}{S_{\text{орош.}}} \quad (18)$$

Для квазиустановившегося режима работы схемы уравнение (4), определяющее уравнение материального баланса на входе основного трубопровода ШКДМ, примет вид:

$$Q_{\text{вход}}(t_{\text{орош.}}) = Q(t_{\text{орош.}})_{\text{ЦН}} + Q(t_{\text{орош.}})_{\text{№4}} = Q(t_{\text{орош.}})_{\text{выход2}}, \quad (19)$$

где $t_{\text{орош.}}$ – текущее время орошения, с; $Q(t_{\text{орош.}})_{\text{№4}}$ – расход воды через регулирующий клапан №4, м³/с; $Q(t_{\text{орош.}})_{\text{выход2}}$ – расход воды в основном трубопроводе ШКДМ, м³/с; $Q(t_{\text{орош.}})_{\text{ЦН}}$ – расход воды в ЦН, м³/с.

Для регулирующего клапана №4 величина расхода равна

$$Q(t_{\text{орош.}})_{\text{№4}} = k_v \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad (20)$$

где Δp – перепад давления на клапане №4, бар; k_v – объемный расход клапана №4, м³/с.

Учитывая, что расход ЦН регулируется со стороны частотно-регулируемого приводного двигателя (асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором), величину $Q(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}}$ определим выражением

$$Q(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}} = 147,15 \cdot \pi^{-1} \cdot (\pi \cdot D_2 - \delta \cdot z) \cdot b \cdot D_2 \cdot \omega(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}}, \quad (21)$$

где $\omega(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}}$ – угловая скорость вращения ЦН для момента времени $t_{\text{орош}i}$, об/мин; D_2 – диаметр рабочего колеса насоса по внешней окружности лопаток, м; δ – толщина лопаток, м; z – число лопаток; b – ширина лопаток на выходе, м.

Выражение (18) с учетом выражений (17), (19) и (20) примет вид

$$\frac{\pi \cdot R_{\text{труб}}^4 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{6000 \cdot d \cdot l_{\text{труб}} \cdot \mu_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \left(k_0 + k_1 \cdot \frac{D_{\text{сопла}}^2}{H_{\text{сопла}}^3} + v_{\text{ветра}}^{1,5} \right) \cdot \frac{Q(t_{\text{орош}i})_{\text{форс}} \cdot t_{\text{орош}i}}{S_{\text{орош}}} = \\ = k_v \cdot \sqrt{\Delta P} + 147,15 \cdot \pi^{-1} \cdot (\pi \cdot D_2 - \delta \cdot z) \cdot b \cdot D_2 \cdot \omega(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}}. \quad (22)$$

В соответствии с выражением (21) требуемую по условиям полива величину $Q(t_{\text{орош}i})_{\text{выход}2}$ можно обеспечить изменением величины k_v , а также путем регулирования скорости $\omega(t_{\text{орош}i})_{\text{ЦН}}$.

Результаты исследований. Полевой эксперимент по планированию полива с использованием насосного оборудования проводился на пахотных землях, предназначенных для выращивания овощных культур в КФХ «ИП Кичигина Л.П.», Иркутская область, Усолье-Сибирское, село Мальта.

В качестве источника водоснабжения использовался природный водоток с естественным течением по руслу (река Белая). Водозаборное поверхностное устройство изображено на рис. 4. В состав водозаборного устройства (ВУ) входят два асинхронных двигателя с короткозамкнутым ротором ТИП АИР355L4 У3 (поз. 1, рис. 4) с номинальными данными: $U_{\text{ном}}=380$ В, $I_{\text{ном}}=495$ А, $P_{\text{ном}}=250$ кВт, КПД=95%, $\cos\varphi=0,87$, $n_{\text{ном}}=1490$ об/мин. Кроме того, в состав (ВУ) входят два ступенчатых насоса типа ЦНС 300-180 (поз. 2, рис. 4) производства ООО «Ясногорская горно-насосная компания». Технические характеристики насоса: подача – 39,0 м³/ч, мощность – 250 кВт, напор – 180 м, частота вращения – 1475 об/мин, а также три металлических водовода (поз. 3, рис. 4) диаметром $d_{\text{вод}} = 250$ мм.



Рисунок 4. Водозаборное поверхностное устройство: 1–асинхронный двигатель;

2–ступенчатый насос; 3 – водовод

Figure 4. Water intake surface device: 1– asynchronous motor;

2– stage pump; 3 – water conduit

Количество водоводов определяется общим количеством дождевальных машин, использующихся в хозяйстве: ШКДМ фирмы T-L Irrigation company в количестве 5 шт.; шланговые барабанные дождевальные машины (ШБДМ) типа «Харвест» 500/110 в количестве 8 шт.

Длина трубопровода до места расположения наименее удаленной от точки забора воды ШКДМ составляет 2,4 км. Для установленного типа насоса время транспортного запаздывания в диапазоне изменения частоты его вращения 1:2 составляет 815 с. Количество опор ШКДМ равно 14, общая длина 550 метров, минимальное время совершения полного оборота в процессе полива равно 24 часа.

С использованием НК и дополнительного трубопровода были экспериментально исследованы в условиях слабого ветра особенности работы multifunctional разбрызгивателей фирмы Nelson D3000, которые крепились по линии существующего разбрызгивателя на расстоянии 51 метр от центральной поворотной башни ШКДМ. В процессе эксперимента клапаны №₁ и №₃ открыты, клапаны №₂ и №₄ закрыты. Необходимое по условиям эксперимента давление в дополнительном трубопроводе в месте расположения сменных форсунок обеспечивалось за счет гидростатического давления в НК. В точке локации сменных спринклеров была установлена мобильная метеорологическая станция для измерения температуры и влажности воздуха, а также скорости и направления ветра. Все метеорологические переменные измерялись каждые десять секунд, а средние значения устанавливались с помощью регистратора данных каждые шестьдесят секунд. Осредненные значения метеоданных позволили оценить точность предложенного физико-математического подхода с точки зрения определения энергетических, динамических и весовых величин и параметров капли. Технические характеристики оросителей и экспериментальные данные для давления воды на входе спринклера 0,7 атм. приведены в табл. 1, соответственно для давления 1,0 атм. – в табл. 2.

Таблица 1. Сводная таблица данных эксперимента для первого опыта
 Table 1. Summary table of experimental data for the first experiment

Тип форсунки цвет/подложка	Диаметр сопла, мм	Скорость ветра, м/с	Расход воды, л/мин	Дальность струи, м	Диаметр капли, мм	Скорость капли, м/с	Масса капли, г
12 золото/золото	2,38	0,9÷5,2	2,99	6,3	1,1	7,2	0,026
19 серый/бирюзовый	3,77	1,3÷4,7	7,45	7,5	1,1	6,9	0,026
26 белый/белый	5,16	2,2÷6,1	14,0	8,1	1,2	7,5	0,03
34 зеленый/зеленый	6,75	1,7÷5,6	24,11	8,2	1,0	7,4	0,024

Примечание: при проведении экспериментов число опытов для каждого типа форсунки при заданной величине давления равнялось 5, среднее время одного эксперимента составило 1,7 ч, температура воздуха 23,2°C.

Таблица 2. Сводная таблица данных эксперимента для второго опыта
 Table 2. Summary table of experimental data for the second experiment

Тип форсунки цвет/подложка	Диаметр сопла, мм	Скорость ветра, м/с	Расход воды, л/мин	Дальность струи, м	Диаметр капли, мм	Скорость капли, м/с	Масса капли, г
12 золото/золото	2,38	1,7÷8,3	2,99	6,1	1,0	7,4	0,024
19 серый/бирюзовый	3,77	4,1÷7,3	7,45	7,9	1,0	7,7	0,024
26 белый/белый	5,16	1,5÷9,3	14,0	9,0	1,1	8,0	0,026
34 зеленый/зеленый	6,75	2,5÷6,3	24,11	8,6	1,1	8,3	0,026

Проведенные эксперименты с использованием НК и дополнительного трубопровода ШКДМ применительно к разбрызгивателям с вращающейся пластиной низкого давления в широком диапазоне метеорологических условий, размеров сопел и рабочих давлений позволили оценить точность предложенной баллистической модели полета капли (11%). Потери энергии разбрызгивателей в наибольшей степени определяются текущими метеорологическими условиями (варьировались от 17 до 53%) и в меньшей степени зависят от типа форсунки. Распределение капель по размерам и равномерности на единицу орошаемой поверхности достаточно точно воспроизводит схему подачи воды к разбрызгивателям (8%).

В целом полевые эксперименты позволяют улучшить процесс калибровки спринклеров по размерам сопла и группе давлений с учетом местных климатических условий и ветровой нагрузки на подготовительном этапе работы системы орошения путем варьирования факторов прямого влияния на показатели «эффективного орошения».

Выводы. Предложенный вариант схемы орошения закрытого типа отличается от родственных по назначению систем орошения в применении в месте полива накопительной емкости для воды с искусственным напором и регулируемым уровнем, а также группы насосного оборудования, обеспечивающего подачу воды к широкозахватной дождевальной машине с набором водопроводящих трубопроводов различного функционального назначения. Использование накопительной емкости позволяет исключить влияние времени транспортного запаздывания на движение воды в подающем трубопроводе и, как следствие, повысить управляемость системы орошения в режимах, требующих «быстрого» изменения норм полива. Введение дополнительного трубопровода с подключенными в осевом направлении с основным трубопроводом дождевальной машины разбрызгивателями, распыляющими воду на низкой высоте, обеспечивает возможность динамического управления процессом полива для требуемых параметров интенсивности дождя и его энергетических характеристик. Алгоритм функционирования системы дает возможность повысить техническую эффективность работы водоотводящих сетей и насосного оборудования за счет перевода центробежного насоса накопительного резервуара в обращенный турбинный режим работы. Как следствие, перевод герметичного центробежного насоса в генераторный режим работы обеспечивает практическую возможность получения в системе автономного источника напряжения требуемого класса напряжения.

Список источников литературы

1. Труфляк, Е. В. Основные элементы системы точного земледелия / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 39 с.
2. Tang, P. Improving Water Distribution Uniformity by Optimizing the Structural Size of the Drive Spoon Blades for a Vertical Impact Sprinkler / P. Tang, C. Chen, H. Li // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (18): 7574.
3. Неверов, А.А. Вероятностный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур и погодных условий вегетационного периода 2019 года для степной зоны Оренбургского Приуралья / А.А. Неверов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (77). – С. 36–39.
4. Пряхина, С.И. Методы и приборы гидрометеорологических измерений / С.И. Пряхина, С.В. Морозова, Н.В. Семенова, Н.В. Короткова // Методы и приборы гидрометеорологических измерений: учебно-методическое пособие. – Саратов: ИЦ «Наука», 2016. – 178 с.
5. Черноволов, В.А. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях: монография / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. – 208 с.
6. Черных, А.Г. Использование насосного оборудования в закрытой оросительной системе с разделительной камерой и накопительным резервуаром в обращенном режиме работы / А.Г. Черных // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4 (65). – С.112–123.

7. Зотов, В.А. Методика аналитического расчета реакций систем с транспортным запаздыванием / В.А. Зотов // Сборник научных трудов ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2016. – № 4(47). – С.149–152.
8. Черных, А.Г. Модернизация структуры и способа создания искусственного напора воды в закрытой оросительной системе с дождевальной машиной и герметичным центробежным насосом / А.Г. Черных // Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции, г. Ижевск, 15–18 февраля 2022. В 2 т. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 108–115
9. Experimental and simulation investigation on the kinetic energy dissipation rate of a fixed Spray-plate sprinkler / Zhang Y., Sun B., Fang H., Zhu D., Yang L. and Li Z. // *Journal of Water*. – 2018. – Vol. 10. – P. 1–13 (1365). – URL: <https://doi.org/10.3390/w10101365> (accessed 30 September 2018).
10. The soil moisture velocity equation / F.L. Ogden, M.B. Allen, W.Lai, J. Zhu, C.C. Douglas, M. Seo, and K.A. Talbot // *Journal of Advances in Modeling of the Earth system*. – 2017. – Vol. 9. – pp. 1473–1487. – URL: <https://doi.org/10.1002/2017MS000931> (accessed 23 May 2017).

References

1. Truflyak, E. V. (2016), *Osnovnye elementy sistemy tochnogo zemledeliya* [The main elements of the precision farming system], Krasnodar, KubGAU, 39 p. (In Russian)
2. Tang, P., Chen, C. and Li, H. (2020), Improving Water Distribution Uniformity by Optimizing the Structural Size of the Drive Spoon Blades for a Vertical Impact Sprinkler, *Sustainability*, vol. 12 (18), 7574.
3. Neverov, A.A. (2019), Probabilistic forecast of crop yields and weather conditions of the growing season 2019 for the steppe zone of the Orenburg Urals, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 3 (77), pp. 36–39. (In Russian)
4. Pryakhina, S.I., Morozova, S.V., Semenova, N.V., Korotkova, N.V. (2016), *Metody i pribory gidrometeorologicheskikh izmerenij* [Methods and instruments of hydrometeorological measurements], *Educational and methodological manual "Methods and instruments of hydrometeorological measurements"*, Saratov, IC "Nauka", 178 p. (In Russian)
5. Chernovolov, V.A., Kravchenko, L.V. (2016), *Matematicheskoe modelirovanie processov raspredeleniya zhidkostej v agrotekhnologiyah: monografiya* [Mathematical modeling of fluid distribution processes in agrotechnologies: monograph], Zernograd, Azov-Black Sea Engineering Institute of the Donskoy GAU, 208 p. (In Russian)
6. Chernykh, A.G. (2021), Use of pumping equipment in a closed irrigation system with a separation chamber and a storage tank in reverse operation mode, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 4 (65), pp.112–123. (In Russian)
7. Zotov, V.A. (2016), *Metodika analiticheskogo rascheta reakcij sistem s transportnym zapazdyvaniem* [Methodology of analytical calculation of reactions of systems with transport delay], *Collection of scientific papers of the State Educational Institution of the LNR "DonGTU"*, no. 4(47), pp.149–152. (In Russian)
8. Chernykh, A.G. (2022), *Modernizaciya struktury i sposoba sozdaniya iskusstvennogo napora vody v zakrytoj orositel'noj sisteme s dozhdeval'noj mashinoj i germetichnym centrobezhnym nasosom* [Modernization of the structure and method of creating artificial water pressure in a closed irrigation system with a sprinkler machine and a sealed centrifugal pump], *Scientific developments and innovations in solving strategic tasks of the agro-industrial complex, materials of the International Scientific and Practical Conference*, In 2 vol., Izhevsk, February 15–18, 2022, Izhevsk State Agricultural Academy, pp. 108–115. (In Russian)
9. Zhang, Y., Sun, B., Fang, H., Zhu, D., Yang, L. and Li, Z. (2018), Experimental and simulation investigation on the kinetic energy dissipation rate of a fixed Spray-plate sprinkler, *Journal of Water*, vol. 10, pp. 1–13 (1365), available: <https://doi.org/10.3390/w10101365> (accessed 30 September 2018).
10. Ogden, F.L., Allen M.B., Lai W., Zhu J., Douglas C.C., Seo M., and Talbot, K.A. (2017), The soil moisture velocity equation, *Journal of Advances in Modeling of the Earth system*, vol. 9, pp. 1473–1487, available: <https://doi.org/10.1002/2017MS000931> (accessed 23 May 2017).

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского», spm-код: 6696-6126.

Information about the author

Alexey G. Chernykh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky", spin-код: 6696-6126.

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

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

Статья поступила в редакцию 25.10.2022; одобрена после рецензирования 06.12.2022; принята к публикации 14.12.2022

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 06.12.2022; accepted after publication 14.12.2022

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

Уважаемые коллеги!

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

- 06.01.00 Агрономия (сельскохозяйственные науки; биологические науки);
- 06.02.00 Ветеринария и Зоотехния (сельскохозяйственные науки; биологические науки);
- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем (технические науки; сельскохозяйственные науки).

Основные требования к статьям, предоставляемым для публикации в журнале:

1. Статья должна соответствовать основным научным направлениям журнала, а также содержать результаты научных исследований, теоретические, практические (инновационные) разработки, готовые для использования и являющиеся актуальными на современном этапе научного развития.

2. Размер текста статьи должен составлять 7-10 страниц на листах А4, шрифт Times New Roman, шрифт 14, межстрочный интервал – 1,5.

3. В редакционно-издательский отдел необходимо предоставить следующие материалы:

- **текст статьи** на русском языке в бумажной версии (для сторонних авторов – электронной; формат файла: doc, docx; на эл.почту izvestiya@spbgau.ru) 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. Редакционно-издательские услуги для сторонних авторов – 550 руб. (1 стр.), стоимость журнала – 900 руб.

6. **В каждом журнале допускается публикация только одной статьи одного и того же автора.**

Редакция оставляет за собой право на воспроизведение поданных авторами материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража экземпляров.

Подробная информация о журнале «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» на сайте <http://spbgau.ru/izvestiya>

ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Ежеквартальный научный
журнал № 4 (69)

Подписано к печати 26.12.2022
Формат 60×84 1/8. П.л. 23 Тираж 1000. Заказ 470.
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов
в Издательско-полиграфическом комплексе
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2