НГАУ
Новосибирский государственный аграрный университет

ISSN 2072-6724

# ВЕСТНИК НГАУ

## НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
## VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY




№3(76)
2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ВЕСТНИК НГАУ

**Новосибирский государственный аграрный университет**

## Научный журнал

**№ 3(76)2025**

***Н.Н. Кочнев***
**главный редактор, доктор биологических наук, профессор**

**Учредитель: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»**

**Основан в декабре 2005 года**

**Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций**

**ПИ № ФС 77-35145 29.01.2009.**

**Материалы издания выборочно включаются в международные базы данных Agris, Ulrich's Periodicals Directory**

Russian Science Citation Index

**Электронная версия журнала на сайте: www.elibrary.ru**

Адрес редакции и издателя:
630039, г. Новосибирск,
ул. Добролюбова, 160, каб. 106
журнал «Вестник НГАУ»
(Новосибирский государственный аграрный университет)
Телефоны: +7 (383) 264-23-62;
+7 (383) 264-25-46 (факс)
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

**Подписной индекс издания 94091**

**Тираж 500 экз.**



## Редакционный совет:

**Рудой Е.В.** – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)
**Кочнев Н.Н.** – д-р биол. наук, проф., зав. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, главный редактор (Новосибирск, Россия)
**Жучаев К.В.** – д-р биол. наук, проректор по научной работе ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, зам. главного редактора (Новосибирск, Россия)

## Редакционная коллегия:

**Абрамов Н.В.** – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
**Беляев А.А.** – д-р с.-х. наук, доцент кафедры защиты растений ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Будажапов Л.В**. – д-р биол. наук, чл.-корр. РАН., директор БурНИИСХ СО РАН (Улан-Удэ, Россия)
**Булашев А.К.** – д-р вет. наук, проф. кафедры биотехнологии и микробиологии Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (Астана, Казахстан)
**Васильева О.Ю.** – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией декоративных растений Центрального сибирского ботанического сада (Новосибирск, Россия)
**Вышегуров С.Х.** – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Галеев Р.Р.** – д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Гамзиков Г.П.** – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Гончаров Н.П**. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)
**Добротворская Н.И.** – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)
**Донченко А.С.** – д-р вет. наук, акад. РАН, руководитель ИЭВСиДВ Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (Новосибирск, Россия)
**Дубовский И.М.** – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Камалдинов Е.В.** – д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной биоинформатики ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Капустянчик С.Ю**. – д-р с.-х. наук, директор СибНИИРС ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)
**Кашеваров Н.И.** – д-р с.-х. наук, акад. РАН, руководитель СибНИИ кормов СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)
**Костомахин Н.М**. – д-р биол. наук, проф. кафедры молочного и мясного скотоводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)
**Кочетов А.В.** – д-р биол. наук, академик РАН, директор ФИЦ ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)
**Магер С.Н.** – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)
**Минджун Ли.** – проф., директор Института биотехнологии животных Академии животноводства КНР (Синьцзян, Китай)
**Ноздрин Г.А.** – д-р вет. наук, проф., профессор кафедры фармакологии и общей патологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Нургазиев Р.З**. – д-р вет. наук, профессор, акад. НАН КР, ректор КНАУ им. К.И. Скрябина (Бишкек, Кыргызстан)
**Петров А.Ф.** – д-р с.-х. наук, директор Института агробиотехнологий НГАУ (Новосибирск, Россия)
**Петухов В.Л.** – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)
**Поповски З.** – д-р аграр. наук, профессор кафедры биохимии и генной инженерии Университета Св. Кирилла и Мефодия (Скопье, Македония)
**Саттаров Д.С.** – д-р с.-х. наук, директор центра инновационной биологии и медицины НАН Таджикистана (Душанбе, Таджикистан)
**Солошенко В.А.** – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)
**Шарков И.Н.** – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник ИПА СО РАН (Новосибирск, Россия)
**Шейко И.П.** – д-р с.-х. наук, акад. НАН Республики Беларусь, первый зам. ген. директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» (Жодино, Беларусь)



Технический редактор *О.Н. Мищенко*
Редактор *М.А. Мжельская*
Компьютерная верстка *В.С. Колбин*
Дата выхода в свет 30 сентября 2025 г. Свободная цена.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{8}$. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2822.

Отпечатано в ИЦ НГАУ «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. +7 (383) 267-09-10. E-mail: 213-45-39@mail.ru


© ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 2025

# VESTNIK NGAU

**Novosibirsk State Agrarian University**

**Scientific journal**

**No. 3(76)2025**

***H.H. Kochnev***
**Editor-in-Chief, Doctor of Biological Sc. Professor**

**The founder is Federal State State-Funded Educational Institution of Higher Education "Novosibirsk State Agrarian University"**

**The journal is based in December, 2005**

**The journal is registered in the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies and Mass Media Certificate PI No. FS 77-35145 29.01.2009.**

**The materials are included into the database Agris, Ulrich's Periodicals Directory on a selective basis**

**Russian Science Citation Index**

**E-journal is found at: www.elibrary.ru**

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
VESTNIK NGAU
of Novosibirsk State Agrarian University
Tel: +7 (383) 264–23–62;
Fax: +7 (383) 264–25–46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

**Subscription index is 94091**

**Circulation is 500 issues**



## Editors:

**Rudoy E.V.** – D.Sc. (Econ.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of the Novosibirsk State Agrarian University, Chairman of the Editorial Board (Novosibirsk, Russia)
**Kochnev N.N.** – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology of the Novosibirsk State Agrarian University, Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)
**Zhuchaev K.V.** – D.Sc. (Biol.), Vice-Rector for Research, Novosibirsk State Agrarian University, Deputy Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)

## Editorial Board:

**Abramov N.V.** – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Urals State Agrarian University (Tyumen, Russia)
**Belyaev A.A.** – D.Sc. (Agr.), Associate Professor, Department of Plant Protection, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Budazhapov L.V.** – D.Sc. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Buryat Scientific Research Institute of Agriculture SB RAS (Ulan-Ude, Russia)
**Bulashev A.K.** – D.Sc. (Vet.), Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University (Astana, Kazakhstan)
**Vasilieva O.Yu.** – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Ornamental Plants, Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk, Russia)
**Vyshegurov S.Kh.** – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Botany and Landscape Architecture, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Galeev R.R.** – D.Sc. (Agr.), Professor of the Department of Plant Growing and Forage Production, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Gamzikov G.P.** – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Goncharov N.P.** – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Dobrotvorskaya N.I.** – D.Sc. (Agr.), Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Donchenko A.S.** – D.Sc. (Vet.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Institute of the Veterinary Medicine of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Dubovsky I.M.** – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Kamal'tdinov E.V.** – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Informatics Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Kapustyanchik S.Yu.** – D.Sc. (Agr.), Director of the Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Kashevarov N.I.** – D.Sc. (Agr.), Head of the Siberian Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk, Russia)
**Kostomakhin N.M.** – D.Sc. (Biol.), Professor of the Department of Dairy and Beef Cattle Breeding of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)
**Kochetov A.V.** – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Mager S.N.** – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Mingjun Liu.** – Professor, Director of the Institute of Animal Biotechnology of the Chinese Academy of Animal Science (Xinjiang, China)
**Nozdrin G.A.** – D.Sc. (Vet.), Prof., Professor, Department of Pharmacology and General Pathology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Nurgaziev R.Z.** – D.Sc. (Vet.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of the Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)
**Petrov A.F.** – D.Sc. (Agr.), Director of the Institute of Agrobiotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Petukhov V.L.** – D.Sc. (Biol.), Prof., Professor, Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
**Popovski Z.** – D.Sc. (Agr.), Professor, Department of Biochemistry and Genetic Engineering, University of St. Cyril and Methodius (Skopje, Macedonia)
**Sattarov D.S.** – D.Sc. (Agr.), Director of the Center for Innovative Biology and Medicine of the National Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, Tajikistan)
**Soloshenko V.A.** – D.Sc. (Agr.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
**Sharkov I.N.** – D.Sc. (Biol.), Chief Researcher of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS (Novosibirsk, Russia)
**Sheiko I.P.** – D.Sc. (Agr.), Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, First Deputy Director General of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry" (Zhodino, Belarus)



Typing: *Mishchenko O. N.*
Editor *Mzhelskaya M.A.,*
Desktop publishing: *Kolbin V.S.*
Date of publication September 30th 2025. Free price.
Size is 60 × 84 $^{1}/_{8}$. Volume contains 31,5 publ. sheets. Offset paper is used.
Typeface "Times New Roman" is used. Order no. 2822.

Printed in "Zolotoy Kolos" Publ. of Novosibirsk State Agrarian University
160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10
E-mail: 2134539@mail.ru


© FSSFEI HE "Novosibirsk State Agrarian University", 2025

## АГРОНОМИЯ

**Абдуллина Р.Г.**
Итоги интродукции некоторых представителей рода Sorbus L. на Южном Урале

**Амброс Е.В., Трофимова Е.Г.**
Биотехнология получения растений–регенерантов земляники садовой ex vitro с использованием хелатов кремния из возобновляемого растительного сырья

**Бакшаев Д.Ю.**
Влияние срока скашивания отавы люцерны изменчивой на ее кормовую продуктивность

**Беляев А.А., Шпатова Т.В., Неволин С.В.**
Применение штаммов бактерий рода Bacillus при размножении облепихи одревесневшими черенками

**Беляков М.В., Никитин Е.А., Владимиров Ф.Е.** Разработка методики люминесцентного контроля содержания влаги в размолах кукурузы и пшеницы при приготовлении кормов

**Галеев Р.Р., Альберт М.А., Зверев А.Е., Петров А.Ф.**
Эффективность применения стимуляторов роста и органоминеральных удобрений при интенсификации производства зерновых культур в Западной Сибири

**Зотова В.С., Пролётова Н.В., Трабурова Е.А.**
Оценка потомств растений-регенерантов льна-долгунца по устойчивости к антракнозу и повышенной кислотности почвы на искусственных провокационных фонах

**Королева Е.В., Фотев Ю.В.**
Достижения Новосибирского государственного аграрного университета в селекции кларкии (Clarkia Pursh)

**Литвинчук О.В., Уразова Л.Д., Сайнакова А.Б., Чудинова Ю.В., Петров А.Ф.**
Выбор многолетних злаков для газонных покрытий в таежной зоне Западной Сибири

**Лукьянчук Л.М., Бутовец Е.С.**
Селекционные исследования при создании перспективных сортов сои

**Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю., Ефимова А.Г., Пушкарева О.В.**
Селекция озимой пшеницы в условиях Зауралья

**Матвеева Н.И**.
Комплексная оценка хозяйственно ценных показателей сортов груши в условиях Северного Прикаспия

**Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В.**
Водный режим листьев некоторых представителей рода Cotinus Mill. на Южном Урале

**Побеленская А.А., Коробова Л.Н., Павлова К.В**.
Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице в годы с разной влагообеспеченностью

**Понажев В.П., Пролётова Н.В.**
Эффективность создания исходного материала и семян льна высокого качества с маркерным признаком

**Риксен В.С., Шпак В.А.**
Глубокое обучение для автоматизированного мониторинга сорняков в посевах зерновых

## AGRONOMY

**Abdullina R.G.** 5
The results of the introduction of some representatives of the genus Sorbus l. in the Southern Urals

**Ambros E.V., Trofimova E.G.** 15
Biotechnology of obtaining garden strawberry regenerate plants ex vitro using silicon chelates from renewable plant raw materials

**Bakshaev D.Y.** 31
The effect of the mowing time of alfalfa on its feed productivity

**Belyaev A.A., Shpatova T.V., Nevolin S.V.** 39
Application of Bacillus bacterial strains in the propagation of sea buckthorn by ligious cuttings

**Belyakov M.V., Nikitin E.A., Vladimirov F.E.** 48
Development of a method for luminescent control of moisture content in corn and wheat grindings in feed preparation

**Galeev R.R., Albert M.A., Zverev A.E., Petrov A.F.** 59
Effectiveness of growth stimulators and organomineral fertilizers in the intensification of grain production in Western Siberia

**Zotova V.S., Proletova N.V., Traburova E.A.** 71
Assessment of progeny of flax flax regenerant plants for resistance to anthracnose and increased soil acidity on artificial cultivation backgrounds

**Koroleva E.V., Fotev Yu.V.** 84
Achievements of Novosibirsk state agrarian university in Clarkia (Clarkia Pursh) breeding

**Litvinchuk O.V., Urazova L.D., Sainakova A.B., Chudinova Yu.V., Petrov A.F.** 96
Selection of perennial grasses for lawn coverings in the taiga zone of Western Siberia

**Lukyanchuk L.M., Butovets E.S.** 106
Breeding research on the creation of promising soybean varieties

**Maltseva L.T., Filippova E.A., Bannikova N.Y., Yefimova A.G., Pushkareva O.V.** 117
Breeding of winter wheat for the conditions of the Trans-Urals

**Matveeva N.I.** 127
Complex evaluation of economic-valuable indicators of pear varieties in the conditions of the Northern Caspian region

**Murzabulatova F.K., Polyakova N.V.** 137
Water regime of leaves of some representatives of the genus Cotinus mill. in the Southern Urals

**Pobelenskaya A.A., Korobova L.N., Pavlova K.V.** 143
Efficacy of biopreparations on spring wheat under variable moisture conditions

**Ponazhev V.P., Proletova N.V.** 150
Efficiency of creating high-quality flax source material and seeds with a marker feature

**Riksen V.S., Shpak V.A.** 158
Deep learning for automated weed monitoring in grain crops

**Романова М.С., Хаксар Е.В., Чудинова Ю.В., Колбина О.Н.**
Изучение эффективности использования различных источников освещения при выращивании растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках

**Romanova M.S., Khaksar E.V., Chudinova Yu.V., Kolbina O.N.**
Studying the effectiveness of using different lighting sources in growing CHaroit potato plants in aerohydroponic systems
**168**

**Серебрякова О.В., Белышкина М.Е.**
Мониторинг содержания минеральных компонентов в агроэкосистемах некоторых регионов России

**Serebryakova O.V., Belyshkina M.E.**
Monitoring of the content of mineral components in agroecosystems of some regions of Russia
**180**

**Сидоров А.В., Федосенко Д.Ф., Герасимова Н.С.**
Влияние генотипа и погодных условий на содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Красноярского края

**Sidorov A.V., Fedosenko D.F., Gerasimova N.S.**
Impact of genotype and weather conditions on protein content in spring soft wheat grain under forest-steppe conditions of Krasnoyarsk region
**190**

**Сомова Е.Н., Маркова М.Г.**
Клональное микроразмножение бакчарских сортов жимолости синей (Lonicera caeruleae L.)

**Somova E.N., Markova M.G.**
Clonal micropropagation of bakchar varieties of blue honeysuckle (Lonicera caeruleae L.)
**198**

**Томошевич М.А., Воробьева И.Г., Потешкин И.Г., Банаев Е.В.**
Опыт применения пестицидов для борьбы с вредителями защищенного грунта в ЦСБС СО РАН

**Tomoshevich M.A., Vorobyova I.G., Poteshkin I.G., Banaev E.V.**
Experience of using pesticides to control protected soil pests in the CSBG SB RAS (Novosibirsk)
**205**

**Тронина Л.О.**
Влияние системы обработки на агрофизические свойства почвы и продуктивность культур в звене полевого севооборота

**Tronina L.O.**
Influence of tillage system on agrophysical properties of soil and crop productivity in the link of field crop rotation
**213**

**Юсов В.С., Евдокимов М.Г.**
Оценка адаптивности и стрессоустойчивости к засухе перспективных линий яровой твердой пшеницы

**Yusov V.S., Evdokimov M.G.**
Assessment of adaptability and stress resistance to drought of promising lines of spring durum wheat
**222**

## ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

## VETERINARY, ANIMAL SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

**Буряков Н.П., Бурякова М.А., Медведев И.К., Олесюк А.П.**
Оценка эффективности влияния кормового средства на основе продуктов переработки сахара и производства дрожжей на молочную продуктивность коров в период раздоя

**Buryakov N.P., Buryakova M.A., Medvedev I.K., Olesyuk A.P.** Evaluation of the effectiveness of the effect of feed based on waste from sugar processing and yeast production on the dairy productivity of cows
**231**

**Жучаев К.В., Кочнева М.Л., Папшев С.В., Борисенко Е.А.**
Физиологический статус и продуктивность хряков зарубежной селекции при акклиматизации в Сибири

**Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Papshev S.V., Borisenko E.A.**
Physiological status and productivity of boars of foreign breeding during acclimatization in Siberia
**241**

**Криворучко А.Ю., Шумаенко С.Н., Каниболоцкая А.А., Скокова А.В., Сафарян Е.Ю., Яцык О.А.** Применение SNP-панелей для целевого секвенирования при генотипировании молодняка овец породы российский мясной меринос

**Krivoruchko A.Yu., Shumaenko S.N., Kanibolotskaya A.A., Skokova A.V., Safaryan E.Yu., Yatsyk O.A.**
Application of SNP-panels for targeted sequencing in genotyping young sheep of the Russian meat merino breed
**249**

**Кривошеина Е.И., Беличенко К.Р., Чуб Е.В., Карташов М.Ю.**
Получение РНК-контрольного образца и перспектива его применения для диагностики желтой лихорадки методом LAMP

**Krivosheina E.I., Belichenko K.R., Chub E.V., Kartashov M. Yu.**
Obtaining RNA control sample and prospects of its application for diagnostics of yellow fever by the LAMP method
**261**

**Таловская О.Б., Ефремова Е.А., Удальцов Е.А.**
Комплексная оценка эпизоотической ситуации по трихинеллезу в Новосибирской области

**Talovskaya O.B., Efremova E.A., Udaltsov E.A.**
Comprehensive assessment of the epizootic situation of trichinosis in Novosibirsk region
**269**

# АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-5-14
УДК 630.181.8:634.18

## ИТОГИ ИНТРОДУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *SORBUS* L. НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

**Р.Г. Абдуллина**

*Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия*

**E-mail:** rimmaabdullina@yandex.ru

**Для цитирования:** *Абдуллина Р.Г.* Итоги интродукции некоторых представителей рода *Sorbus* L. на Южном Урале // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 5–14. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-5-14.

**Ключевые слова***:* рябина, виды, сорта, зимостойкость, устойчивость.

**Реферат.** *Работа посвящена оценке интродукции представителей коллекции рода Sorbus Южно-Уральского ботанического сада-института на Южном Урале. Материалом для исследования послужили результаты собственных фенологических наблюдений за сорока двумя таксонами рода рябин, определение зимостойкости и устойчивости выполнялось по общепринятым методикам в период 2012–2024 гг. По итогам оценки рябины распределены на три группы: I – наиболее перспективные (31 таксон), II – перспективные (8 таксонов) и III – менее перспективные (3 таксона). Представители первой группы имеют устойчивость к местным климатическим условиям и высокую зимостойкость: S. amurensis, S. americana, S. × arnoldiana и др. Жизненное состояние хорошее. Во вторую группу вошли виды, зимостойкость которых в отдельные годы снижается до I–II баллов: S. × hybrida, S. arranensis, S. graeca. В эту группу также вошли плодовые сорта рябин, не достигших возраста плодоношения: 'Ангри', 'Дочь Кубовой' и 'Вефед'. Жизненное состояние удовлетворительное. В третью группу, менее перспективных, вошли: S. alnifolia, S. velutina и S. aria, которые не сохраняют габитус кроны, не плодоносят (кроме S. aria), зимостойкость которых может снижаться до II–III баллов. Жизненное состояние ослабленное. К перспективным в качестве плодовых культур в условиях Южного Урала, кроме рябин более ранней посадки (1958–1987 гг.), из устойчивых декоративных культур рекомендуется отнести таксоны, включенные в интродукцию относительно недавно (2005–2014 гг.): S. × latifolia, S. teodorii, Sorbocotoneaster pozdnijkovii, S. scopulina, S. sambucifolia, S. pohuashanensis, а S. aucuparia var. moravica, S. aucuparia 'Алая крупная', 'Гранатная', S. aucuparia 'Невежинская' как плодовые.*

## THE RESULTS OF THE INTRODUCTION OF SOME REPRESENTATIVES OF THE GENUS *SORBUS* L. IN THE SOUTHERN URALS

**R.G. Abdullina**

*South Ural Botanical Garden-Institute is a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia*

**E-mail:** rimmaabdullina@yandex.ru

**Keywords***:* mountain ash, species, varieties, winter hardiness, resistance.

**Abstract.** *The work is devoted to the evaluation of the introduction of representatives of the genus Sorbus of the collection of the South Ural Botanical Garden-Institute in the South Urals. The material for the study was the results of own phenological observations of 42 taxa of the genus rowan, determination of winter hardiness and resistance using generally accepted methods, period 2012–2024. Based on the results of the evaluation, all species and varieties of mountain ash in the collection are divided into 3 groups: I – the most promising (31 taxa), II – promising (8 taxa) and III – less promising (3 taxa). Representatives of the first group have resistance to local climatic conditions and high winter hardiness: S. amurensis, S. americana, S. × arnoldiana, S. aucuparia etc. The vital condition is good. The second group includes species whose winter hardiness may be reduced to an I–II score in some years: S. × hybrida, S. intermedia, S. arranensis, S. mougeotii, S. graeca. This group*

*also includes fruit varieties of mountain ash that have not reached the age of fruiting: S. aucuparia 'Angri', S. aucuparia 'Doch Kubovoj' and S. aucuparia 'Wefed'. The vital condition is satisfactory. The third group, less promising, includes three species: S. alnifolia, S. velutina and S. aria, which do not retain their growth form, do not bear fruit (except S. aria), in some years winter hardiness may decrease to II–III points. The vital condition is weakened. Taxa included in the introduction relatively recently (2005–2014) are recommended to be considered promising as fruit crops in the conditions of the Southern Urals, except for rowan trees of earlier planting (1958–1987): S. caucasica,S. × latifolia, S. teodorii, Sorbocotoneaster pozdnijkovii, S. scopulina, S. sambucifolia, S. pohuashanensis and S. aucuparia var. moravica, S. aucuparia 'Alaya krupnaya', × Crataegosorbus miczurinii 'Granatnaya', S. aucuparia 'Nevezhinskaya' as fruit.*

Род Рябина (*Sorbus* L.) относится к подсемейству *Maloideae* Weber семейства *Rosaceae* Adans., насчитывает более 250 видов, встречающихся в умеренной зоне Северного полушария [1]. В России встречается 15 таксонов, включающих в себя виды и гибриды [2], на Южном Урале – два вида: *Sorbus aucuparia* L. (Рябина обыкновенная) и *S. sibirica* Hedl. (Рябина сибирская) [3].

По литературным данным, исследования, проведенные на территории России Г.А. Ренгартеном и В.Н. Сорокопудовым [4], выявили, что *S. rufoferruginea* (Schneid.) Schneid. (Рябина рыже-ржавая) и сорта *S.* 'Титан', 'Бурка', 'Алая крупная' обладают значительной устойчивостью к экстремальным условиям внешней среды. Для северных регионов актуально использовать в селекционной работе *S. sambucifolia* (Cham. & Schltdl.) M. Roem. (Рябина бузинолистная) для увеличения зимостойкости, низкорослости, высокого содержания биологически активных веществ.

В суровых условиях ботанического сада Института биологии научного центра Уральского отделения РАН г. Сыктывкара (Республики Коми) перспективными являются рябины североамериканской и восточноазиатской флоры, например, *S. pohuashanensis* (Hance) Hedl. (Рябина похуашанская), *S. discolor* (Maxim.) Maxim. (Рябина двухцветная), *S. sambucifolia*, *S. commixta* Hedl. (Рябина смешанная), *S. americana* Marsh. (Рябина американская). Вегетационный период составляет 140–152 дня. Виды европейско-средиземноморской флоры проходят фазы развития несколько позднее восточноазиатских. У зимостойких рябин рост начинается рано, проходит ускоренно, особенно в начале вегетации. У незимостойких видов *S.* × *hybrida* L. (Рябина гибридная), *S. mougeotii* Soy – Willem. et Godr. (Рябина Мужо) и *S. aria* L. (Рябина ария) вследствие ежегодного обмерзания не сохраняется природная форма роста, превращаясь в кустообразную [5].

В коллекции Полярно-альпийского ботанического сада-института содержится 56 образцов представителей рода *Sorbus*, относящихся к 22 видам и одному подвиду, рассматривалось сезонное развитие некоторых из них. В основном балл зимостойкости у интродуцированных рябин составляет I–III, исключение у кавказских видов *S. albovii* Zinserl. (Рябина Альбова), *S. buschiana* Zinserl. (Рябина Буша), *S. fedorovii* Zaik. (Рябина Федорова), *S. subfusca* (Ledeb. ex Nordm.) Boiss. (Рябина буроватая), характеризующихся баллами зимостойкости III–IV. Эти виды отнесены к малоперспективным. К группе перспективных (I) отнесен местный вид *S. gorodkovii* Pojark. (Рябина Городкова) [6, 7].

В санкт-петербургском Ботаническом саду Петра Великого собрана большая коллекция рябин, насчитывающая 44 таксона. Большинство из них плодоносят и характеризуются высокой зимостойкостью. Как декоративные растения для садоводства и озеленения в Ленинградской области представляют большой интерес три белоплодных вида *S. cashmiriana* Hedl. (Рябина кашмирская), *S. frutescens* McAll. (Рябина кустарниковая), *S. eburnea* McAll. (Рябина желтовато-белая), которые цветут, имеют жизнеспособные семена и хорошую зимостойкость [8, 9].

В коллекции факультета МГУ им. М.В. Ломоносова было рассмотрено сезонное развитие рода *Sorbus*, показатели устойчивости и параметры фенологических ритмов в условиях Московского региона. Выделены три группы рябин по срокам и продолжительности вегетации, для которых установлена корреляция между сроками прохождения основных фенофаз и показателями зимостойкости. Из 38 рассмотренных видов и гибридов рябин наиболее приспособленными к условиям интродукции отнесены 19 видов, принадлежащих к рано начинающим и рано заканчивающим вегетацию. Виды южно-европейского и восточноазиатского происхождения в условиях Москвы отмечены слабозимостойкими, они характеризуются поздним началом и поздним завершением вегетации [10].

В коллекции растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина (ГБС РАН) проводится

интродукционное изучение различных видов и сортов рода *Sorbus*. В процессе изучения рябин были исследованы зимостойкость, масса плодов и их химическое содержание. Рябина амурская и рябина бузинолистная представляют интерес для селекции при создании новых зимостойких, низкорослых, сладкоплодных, поливитаминных сортов. Сорта рябины ‘Алая крупная’, ‘Красная крупноплодная’, ‘Кубовая’, ‘Рубиновая’ перспективны для средней зоны плодоводства. Все изученные дикие виды могут быть использованы в декоративном садоводстве, а сорта – как плодовые культуры [11].

В Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (Южная Карелия) были изучены семь видов *Sorbus* L. Из них наиболее адаптированы к району исследования *S. americana* и *S. discolor,* которые рекомендованы для населенных пунктов в качестве декоративных растений таежной зоны [12]. Там же было проведено исследование начального этапа развития 14 видов рябин, влияние факторов внешней среды на рост и развитие в условиях интродукции. Все изучаемые виды успешно прошли этап онтогенеза, а их взрослые особи характеризуются полным соответствием условиям произрастания [13].

В ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск) проведено исследование, которое позволило выявить ритмы сезонного развития видов *S. sibirica*, *S. aucuparia*, *S. sambucifolia*, *S. kamtschatcensis* Kom. (Рябина камчатская), а также их образцов и гибридов, сортов S. ‘Ангри’, ‘Бусинка’ и ‘Невежинская’. На этой основе были выявлены соответствия длительности и теплообеспеченности периода вегетации в условиях интродукции, выделены отборные формы рябин по комплексу хозяйственно ценных признаков, востребованных для сибирского региона [14].

В ГНУ НИИСХ Юго-Востока г. Саратова имеются виды рябин европейской, среднеазиатской и североамериканской флор. Анализ данных показал, что начало наступления конкретных сезонных периодов роста варьирует и зависит от таксономической принадлежности, индивидуальных особенностей и погодных условий периода вегетации. В среднем длительность вегетации рябин продолжается 130–160 дней. Все виды и гибриды образуют жизнеспособные семена [15].

Были выполнены исследования видового состава зеленых насаждений промышленного г. Донецка и его прилегающего района, для применения в зеленом строительстве промышленных городов региона и в качестве лекарственных растений рекомендованы четыре вида – *S. domestica* L. (Рябина домашняя), *S. graeca* (Shach.) Hedl. (Рябина греческая), *S. mougeotii* и *S. torminalis* (L.) Crantz. (Рябина глоговина) [16].

После проведенных исследований древесных культур рода *Sorbus* в Кубанском ботаническом саду государственного аграрного университета *S. caucasica* Zinserl. (Рябина кавказская) была рекомендована для внедрения специалистами по декоративному садоводству при проектировании парков, ландшафтных экспозиций в степной и предгорных зонах Краснодарского края [17].

Изучение устойчивости и зимостойкости интродуцированных видов рода *Sorbus* L. в условиях горного Дагестана показала, что наиболее морозоустойчивыми являются представители восточноазиатской флоры *S. amurensis* Koehne (Рябина амурская), *S. pohuashanensis* (Hance) Hedl. (Рябина похуашанская) – I балл. Менее морозоустойчивы представители европейско-средиземноморской флоры *S. domestica*, *S. Torminalis*: II–III балла. Предварительный анализ *S. caucasica* и *S. graeca* показывает, что сезонный ритм развития и роста этих видов соответствует природно-климатическим условиям горного Дагестана и обладает высоким адаптационным потенциалом [18].

Восемь интродуцируемых видов рябин коллекции *Sorbus* ботанического сада Оренбургского государственного аграрного университета – *S. aucuparia, S. pohuashanensis, S. koehneana, S. × hybrida*, *S. graeca, S. mougeotii* и *S. intermedia* – отнесены к I группе (с высокой интродукционной устойчивостью). Их можно отнести к перспективным видам для озеленения Оренбурга и близлежащих районов степной зоны [19].

Цель исследования – интродукционное изучение и анализ устойчивости и перспективности 42 таксонов рода *Sorbus* коллекции ЮУБСИ в условиях Южного Урала.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Южно-Уральский ботанический сад-институт находится в юго-восточной части г. Уфы, на склоне западной экспозиции (крутизна 3–6°). Почвообразующими породами являются желто-бурые тяжелые суглинки. Условия уплотненной почвы не позволяют воде и минеральным веществам быть доступными, что ухудшают ее

водно-физические свойства для растений. По метеорологическим данным средняя температура воздуха зимой колеблется от -10,7 до -12,4 °С, абсолютный минимум зафиксирован в -48,5 °С. Среднее количество осадков летом составляет 54–69 мм, годовое количество осадков – 580 мм. Зимой часто происходят оттепели [20]. По среднемноголетним данным наступление осенних заморозков наблюдается в среднем 28 сентября, а окончание весенних заморозков – 6 июня. Глубина снежного покрова может достигать 50–80 см [21].

Объектами оценки являются 42 таксона (29 видов, одна вариация, один межродовой гибрид и 11 сортов) коллекции рода *Sorbus* L. ЮУБСИ за период 2010–2024 гг. По географическому принципу исследуемые виды распределяются следующим образом: восточноазиатской флоры – 13, североамериканской – 4, европейской – 8 и кавказско-азиатской – 6. Использовалась систематика Э.Ц. Габриэлян [22], разделяющая род рябин на пять секций. В оценку включены рябины, высаженные в коллекцию в два периода: 1958–1980 гг. и 2006–2018 гг. [23].

Зимостойкость рябин определяли по 7-балльной шкале, разработанной в ГБС РАН [24]. Для оценки жизнеспособности и перспективности интродуцентов использовали методику интегральной оценки П.И. Лапина и С.В. Сидневой [25], оцениваемых на следующих показателях, в баллах:

1) одревеснение побегов (100 % – 20 баллов, 75 % – 15, 50 % – 10, 25 % – 5;

2) зимостойкость (группа I – 25 баллов, II – 20, III – 15, IV – 10, V – 5, VI – 3, VII – 1);

3) сохранение формы роста (сохраняется – 10 баллов, восстанавливается – 5 баллов, не восстанавливается – 1 балл;

4) побегообразовательная способность (высокая – 5 баллов, средняя – 3 балла, низкая – 1 балл);

5) прирост в высоту (ежегодный – 5 баллов, неежегодный – 2 балла);

6) генеративное развитие (семена созревают – 25 баллов, не созревают – 20, цветет, но не плодоносит – 15, не цветет – 1);

7) возможный способ размножения в культуре (самосев – 10 баллов, искусственный посев – 7, естественное вегетативное размножение – 5, искусственное вегетативное размножение – 3, повторное привлечение растений извне – 1).

Данная методика предусматривает распределение видов по общему количеству баллов на три группы: I – наиболее перспективные (93–100); II – перспективные (69–92); III – менее перспективные (68–76). Для оценки жизненного состояния растений использовалась шкала В.А. Алексеева [26]: хорошее, удовлетворительное, сильно ослабленное, усыхающие, сухостой текущего года, сухостой прошлых лет.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одревеснение побегов оценивалось после завершения всего весенне-осеннего цикла развития (таблица) и характеризуется состоянием растений перед наступлением зимы. Степень вызревания побегов определялась по степени одревеснения однолетних побегов, заложению верхушечных почек, что позволяет растению образовывать прочные структуры, которые защищают от неблагоприятных факторов, таких как низкие ранневесенние и зимние температуры. Все виды и сорта рябин успевают пройти фазу одревеснения побегов и заложения верхушечных почек, позже всех *S.* × *latifolia* (Lam.) Pers. (Рябина широколистная). У *S. velutina* (Albov) C. K. Schneid (Рябина бархатистая) из секции *Aria* в 2023 г. отмечено неполное одревеснение и подмерзание 1–2 летних побегов.

Сохранение формы роста растений, зависит от возраста, зимостойкости, микроусловий места произрастания, которые могут изменяться течение всей жизни растения. При благоприятных условиях размеры, масса и объём растения сохраняют характерную для них в природе форму роста, при неблагоприятных факторах – уменьшают. Выявлено, что в основном все виды коллекции сохраняют свою естественную форму роста. Исключение составляют европейский *S. aria* L. (Рябина ария), в естественных условиях представляет крупный кустарник высотой до 15 м, в условиях нашего ботанического сада – небольшой куст высотой до 1,5 м. Аналогично, по данным О.В. Строцкой [5], в г. Сыктывкаре (Республика Коми) вид не сохраняет свою природную форму роста. Европейско-среднеазиатский *S. graeca* в природе – куст до 8 м высотой, у нас – раскидистый куст до 3,5 м. Оба вида не сохраняют свою естественную форму роста, но ежегодно плодоносят, завязывают доброкачественные семена. Жизненное состояние растений удовлетворительное.

**Оценка интродукционной устойчивости и перспективности рябин**
**Assessment of introduction stability and promising potential of rowan trees**

| № п/п | Таксон | Одревеснение побегов | Зимостойкость | Сохранение формы роста | Побегообразовательная способность | Прирост в высоту | Генеративное развитие | Возможный способ размножения | Сумма баллов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *I – наиболее перспективные* | | | | | | | | | |
| 1 | S. aucuparia | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 10 | 100 |
| 2 | S. americana | 20 | 20 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 3 | S. amurensis | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 4 | S. armeniaca | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 5 | S. × arnoldiana | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 6 | S. caucasica | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 7 | S. cashmiriana | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 8 | S. chamaemespilus | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 9 | S. commixta | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 10 | S. frutescens | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 11 | S. decora | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 12 | S. discolor | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 13 | S. koehneana | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 14 | S. × latifolia | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 15 | S. mougeotii | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 16 | S. pohuashanensis | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 17 | S. rufoferruginea | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 18 | S. sibirica | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 10 | 100 |
| 19 | S. turkestanica | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 20 | S. × thuringiaca | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 21 | S. teodorii | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 22 | Sorbocotoneaster pozdnijkovii | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 23 | S. scopulina | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 24 | S. sambucifolia | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 7 | 97 |
| 25 | *S.* ‘Pendula’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 26 | *S.*‘Алая крупная’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 27 | *S.*‘Невежинская’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 28 | *S. aucuparia* var. *moravica* | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 29 | × *Crataegosorbus* ‘Гранатная’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 30 | *S.* ‘Титан’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| 31 | × *Sorbaronia fallax* ‘Бурка’ | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 93 |
| *II – перспективные* | | | | | | | | | |
| 32 | S. × hybrida | 20 | 25 | 5 | 5 | 5 | 25 | 7 | 92 |
| 33 | S. intermedia | 20 | 25 | 5 | 5 | 5 | 25 | 7 | 92 |
| 34 | S. arranensis | 20 | 25 | 5 | 5 | 5 | 25 | 7 | 92 |
| 35 | S. graeca | 20 | 25 | 5 | 3 | 5 | 25 | 7 | 90 |

*Окончание таблицы*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | *S.* ‘Рубин’ | 20 | 20 | 10 | 5 | 5 | 25 | 3 | 88 |
| 37 | *S.* ‘Ангри’* | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 1* | 3 | 69 |
| 38 | *S.* ‘Дочь Кубовой’* | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 1* | 3 | 69 |
| 39 | *S.* ‘Вефед’* | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 1* | 3 | 69 |
| *III – менее перспективные* | | | | | | | | | |
| 40 | S. alnifolia | 20 | 20 | 5 | 3 | 5 | 15 | 7 | 75 |
| 41 | S. aria | 20 | 20 | 1 | 1 | 2 | 25 | 7 | 76 |
| 42 | S. velutina | 15 | 20 | 5 | 1 | 5 | 15 | 7 | 68 |

*Примечание.* * – не вступили в фазу плодоношения.

Побегообразовательная способность является биологической особенностью растений образовывать побеги ростового типа и обеспечивать восстановление кроны после сильного обмерзания или механических повреждений. Она служит показателем жизнеспособности растения к закладке новых осевых и боковых почек роста в кроне, а также это показатель способности образовывать побеги из спящих почек на стволах, корнях, тем самым сохранять жизненную форму и габитус. Побегообразовательная способность определялась после распускания листьев и образования побегов текущего года. Низкой побегообразовательной способностью характеризуются растения с пониженной устойчивостью, где наблюдается подмерзание побегов и утрата типичной жизненной формы роста: *S. aria*, *S. graeca*, *S. velutina*.

Самая высокая побегообразовательная способность у видов и сортов секции *Sorbus: S. aucuparia*, *S. amurensis*, *S. commixta*, *S. discolor*, *S. ‘*Алая крупная*’*, *S. ‘*Невежинская*’*, *S. aucuparia* var. *moravica*, *S. sibirica*, *S. discolor*, *S. pohuashanensis.*

Прирост в высоту начинается после распускания листьев. У ранораспускающихся рябин начало роста побегов отмечается в третьей декаде апреля, у позднораспускающихся – в первой декаде мая. Заканчивается рост побегов в конце мая – второй декаде июня. На рост побегов оказывают влияние температурные условия, при понижении рост сдерживается, при высокой температуре период роста сокращается. Средний период роста побегов по роду составляет 30–45 дней.

У *S. aria* прирост основного ствола не отличается от боковых, побеги короткие, распределенные по всей кроне. Такие виды, как *S. chamaemespilus* (L.) Crantz. (Рябина приземистая), *S. koehneana* Schneid. (Рябина Кене), *S. frutescens*, в своих естественных ареалах имеют высоту до 2,5–3,5 м, в наших условиях – это также невысокие кустарники, короткий прирост побегов которых равномерно распределен по всему периметру кроны. У некоторых таксонов во второй половине лета можно наблюдать вторичный рост побегов, он бывает непродолжительным, а сами приросты короткими.

Генеративное развитие является одним из основных и важных признаков адаптации растений в новых условиях. На основе визуального осмотра во время цветения дается оценка генеративного развития с целью установления образования плодов и семян. Благодаря семенному размножению обеспечивается смена поколений и закрепляется способность приспособления к новым условиям, приобретенного в процессе акклиматизации. Успешно адаптированные виды образуют доброкачественные семена. Большинство видов и сортов коллекции рябин цветут и завязывают доброкачественные семена, у некоторых таксонов существует периодичность.

По нашим наблюдениям, стадия цветения рябины начинается в разном возрасте, например, *S. frutescens*, *S. americana* начинают цвести в три года, *S. scopulina* Greene (Рябина горная) – в четыре года, *S. sambucifolia* – на пятый год, *S. velutina* – на девятый год, *S.* × *latifolia* – на 14-й год.

Возможный способ размножения характеризуется способностью интродуцентов к воспроизводству в новых условиях и подтверждает соответствие района интродукции природным условиям. Самовозобновление интродуцента семенами показывает, что новые условия произрастания являются для него оптимальными или близкими к природным. Оно наиболее полно отражает соответствие таких растений району.

Получение нормально развитых семян является показателем того, что условия произрастания отвечают природным требованиям биологии растений или что сами растения под влиянием новых условий изменились и приспособились к ним. Семенное размножение интродуцентов обеспечивает смену поколений, закрепление по-

ложительных свойств растений, например, повышение зимостойкости при продвижении с юга на север, приобретенных в процессе адаптации. При отсутствии плодоношения размножение возможно только вегетативным путем: естественным (корневые отпрыски, отводки) или искусственным (прививки, черенки).

Для выявления степени укореняемости при вегетативном размножении черенками видов и сортов рябин был проведен опыт по вегетативному размножению полуодревесневшими стеблевыми черенками одинадцати видов и двух сортов. По результатам опыта наблюдалась различная реакция видов и сортов на обработку стимуляторами корнеобразования, у видов процент укоренения оказался ниже, у сортов выше. В общем процент укоренения черенков составил от 10 до 60 %. Весенняя прививка черенком с приживаемостью до 80 % оказалась более результативным способом [27]. Самосевом размножаются местные виды *S. aucuparia, S. sibirica*, у *S. graeca* и *S.* × *thuringiaca* (Ilse) Fritsch. (Рябина тюрингская) самосев был единичным.

Зимостойкость растений является одним из основных факторов устойчивости при интродукции растений в районах с умеренным климатом. Наибольшей зимостойкостью характеризуются виды рано начинающие и рано заканчивающие вегетацию, менее зимостойки виды поздно начинающие и поздно заканчивающие вегетацию [28].

За предыдущие годы самым неблагоприятным оказался зимний период 2009–2010 гг., который неблагоприятно отразился на устойчивости рябин. Например, у европейского *S. mougeotii* подмерзли однолетние побеги (зимостойкость I–II балла), растения слабо цвели и плодов не завязали. У европейско-среднеазиатского *S. graeca* подмерзли и частично вымерзли летние побеги (зимостойкость I–II балла), цветение и плодоношение было слабым, наблюдалось только на побегах, расположенных на уровне или ниже уровня снегового покрова. У европейских *S.* × *hybrida* L. (Рябина гибридная) и *S. intermedia* (Ehrh) Pers. (Рябина промежуточная) было отмечено слабое цветение, плодов не завязалось, зимостойкость составила I–II балла. У остальных таксонов рябин коллекции негативное влияние зимнего периода не оказало видимого отрицательного воздействия, большинство растений цвели и завязали семена [29]. Зимостойкость коллекции рябин за период наблюдений в основном составляет I балл. Исключение составила *S. velutina* в 2024 г. с зимостойкостью II–III балла.

По результатам оценки все виды и сорта рябин коллекции были распределены на три группы: наиболее перспективные (I) – 31, перспективные (II) – 8 и менее перспективные (III) – 3.

Группа наиболее перспективных рябин в основном представлена видами и сортами секции *Sorbus*, которые являются зимостойкими и имеют хорошее жизненное состояние. Перспективными рябинами являются *S.* североамериканский *scopulina* и дальневосточный *S. sambucifolia*. Устойчивый кустарник *S. scopulina* с глянцевыми листьями и мелкими блестящими шаровидными оранжево-красными плодами, невысоким ростом в возрасте 13 лет имеет высоту 1,4 м, востребован для декоративного садоводства и озеленения. Дальневосточный *S. sambucifolia* обладает невысоким ростом, красивыми цветами и листьями, кисло-сладкими плодами без горечи, это позволяет использовать его как декоративную и плодовую культуру.

Перспективным для интродукции в качестве декоративного кустарника является межродовой восточносибирский гибрид × *Sorbocotoneaster pozdnijkovii.* Этот устойчивый гибрид характеризуется высокой зимостойкостью и может успешно размножаться семенами, сохраняя все свойства. Следует отметить представителя секции *Lobatae* – скандинавского *S. teodorii* Liljef. (Рябина Теодора), показывающего хорошее жизненное состояние, ежегодное плодоношение, устойчивость и высокую декоративность. Также в группу перспективных вошли рябины ранней коллекции *S.* × *thuringiaca* и *S. turkestanica* (Franch.) Hedl. (Рябина туркестанская), которые цветут, плодоносят, имеют высокую устойчивость.

Европейско-азиатский *S.* × *latifolia* получен семенами из БС г. Таллина (Эстония). В данный период это одноствольные быстрорастущие деревья высотой около 7 м с округлой кроной. В возрасте 14 лет было отмечено первое цветение. Имеют зимостойкость I балл. Плодовые сорта рябин *S.* ‘Алая крупная’, ‘Титан’, ‘Гранатная’, ‘Невежинская’ являются перспективными плодово-декоративными растениями.

Перспективными, кроме рябин старой коллекции (1958–1987 гг.), в качестве устойчивых декоративных культур являются таксоны, включенные в интродукцию относительно недавно (2005–2014 гг.): *S. caucasica* и *S. pohuashanensis.* Произрастающие в коллекции белоплодные виды *S. frutescens* и *S. koehneana* цветут, завязывают семена, представляют интерес для озеленения как декоративные кустарники, имеющие невысокий рост, необычный цвет плодов и красивые ажурные листья.

Во вторую группу перспективных вошли виды, которые также имеют зимостойкость I балл,

но в неблагоприятные годы она может снижаться (IA-IB-II балла): *S.* × *hybrida*, *S. arranensis*, *S. mougeotii*, *S. graeca.* У этих видов в отдельные годы могут повреждаться однолетние побеги, иногда, ввиду ранних осенних заморозков можно наблюдать побурение листьев до начала фенофазы «осеняя окраска листьев», но растения восстанавливаются. У сорта *S. aucuparia* ‘Рубиновая’ отмечается зимостойкость I, но в некоторые годы бывает отставание в распускании почек на несколько дней верхней части кроны от нижней, на уровне снегового покрова.

Сорта *S.* ‘Ангри’, *S.* ‘Дочь Кубовой’ и *S.* ‘Вефед’ вошли во вторую группу лишь потому, что еще не вступили в фазу плодоношения. Эти сорта показывают устойчивость и ежегодный прирост побегов. Жизненное состояние растений хорошее.

В группу менее перспективных (третья группа) вошли три вида *S. alnifolia* (Siebold et Zucc.) C. Koch. (Рябина ольхолистная), *S. velutina* и *S. aria*. Дальневосточная *S. alnifolia* выращена из семян, полученных из Самарского государственного университета, и высажена в коллекцию в двух экземплярах: 1) один экземпляр *S. alnifolia* растет в кустовидной форме до 1,5 м высотой, в некоторые годы наблюдается подмерзание однолетних побегов, зимостойкость может снижается до II баллов, 2) другой имеет узкопирамидальную форму до 3,5 м высотой, зимостойкость I балл. За период наблюдений первый экземпляр *S. alnifolia* цвел несколько раз, плодов не завязал, второй экземпляр не цвел.

Кавказская *S. velutina* была получена семенами из ботанического сада Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. За весь период наблюдений *S. velutina* цвела дважды единичными цветками, плодов не завязывалось, два экземпляра выпали. Зимостойкость *S. velutina* в период 2023–2024 г. составила II балла: обмерзли однолетние побеги, была отмечена недостаточная облиственность и изреженность кроны. Также в эту группу вошли *S. aria* и *S. graeca*, которые ежегодно цветут, завязывают семена, но не сохраняют свою природную форму роста. Это согласуется с данными других авторов о недостаточной зимостойкости европейско-средиземноморских видов в условиях севернее, чем их дикие места обитания [14, 5].

## ВЫВОДЫ

1. С учетом устойчивости к местным климатическим условиям и высокой зимостойкости, интродукцию 31 таксона, принадлежащего к первой группе – наиболее перспективных, следует считать успешной. Рекомендуется отнести их к перспективным в качестве декоративных и плодовых культур в условиях Южного Урала.

2. Таксоны, отнесенные ко второй группе перспективных, можно использовать в условиях, которые позволят им благоприятно расти и развиваться.

Работа выполнена по теме ЮУБСИ на 2025–2029 гг.: Биологическое разнообразие растительных ресурсов России: состояние, динамика, экология видов и сообществ, сохранение генофонда, проблемы интродукции, воспроизводства и неистощительного использования. Рег. № 125012200599-6.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *McAllister H.* The genus *Sorbus*. Mountain ash and other rowans. Published by The Royal Botanic Gardens. – Kew. – 2005. – 252 p.
2. *Коновалов И.Н.* Род 16. Рябина – *Sorbus* L. Деревья и кустарники СССР. М.; Л., 1954. – Т. 3. – С. 458–486.
3. *Определитель* высших растений Башкирской АССР / Ю.Е. Алексеев, А.Х. Галеева, И.А. Губанов [и др.]. – М., 1989. – 374 с.
4. *Ренгартен Г.А., Сорокопудов В.Н.* Интродукция и селекция *Sorbus* (*Rosaceae*) в качестве пищевого растения в странах мира // Экосистемы. – 2019. – № 18. – С. 89–96.
5. *Строцкая О.В.* Особенности развития и практическая ценность интродуцентов рода *Sorbus* L. в условиях Севера // Самарский научный вестник. – 2018. – № 7–4 (25). – С. 116–121. – DOI: 10.24411/2309-4370-2018-14120.
6. *Гончарова О.А.* Интродукция кавказских видов рода *Sorbus* L. на Кольском полуострове // Естественные науки. Северокавказский регион. – 2019. – № 1. – С. 101–105.
7. *Гончарова О.А.* Список растений рода *Sorbus* L., интродуцированных в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте имени Н.А. Аврорина // Hortus botanicus. – DOI: 10.15393/j4.art.2020.7586.
8. *Фирсов Г.А., Васильев Н.Р.* Род рябина (*Sorbus*) в коллекции Ботанического сада Петра Великого в Санкт-Петербурге // Растительный мир азиатской России. – 2015. – № 4. – С. 86–93.
9. *Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Яндовка Л.Ф.* Белоплодные рябины (*Sorbus*, *Rosaceae*) Ботанического сада Петра Великого // Растительный мир Азиатской флоры. – 2019. – № 1 (33). – С. 101–107. – DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2019-1(101-107).

10. *Казарова С.Ю., Бойко Г.А.* Сезонное развитие представителей рода *Sorbus* L. в дендрарии ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова // Бюллетень ГБС. – 2018. – № 204 (4). – С. 17–21.
11. *Рябина* в коллекции лаборатории культурных растений Главного ботанического сада имени Н. В. Цицина РАН / М.А. Ермаков, О.Д. Волкова, Л.И. Хоциалова [и др.] // Hortus botanicus. – 2019. – Т. 14. – DOI: 10.15393/j4.art.2019.6224.
12. *Кищенко И.Т.* Сезонный рост интродуцентов рода *Sorbus* L. (Rosaceae) в таежной зоне // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – 2019. – № 2 (42). – С. 84–93. – DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.84.
13. *Особенности* развития видов рода *Sorbus* (Rosaceae) при интродукции в республике Карелия / Е.А. Платонова, Э.М. Магеррамова, Т.А. Тимохина, Л.А. Сергиенко // Растительные ресурсы. – 2023. – № 59 (4). – С. 394–411. – DOI: 10.31857/S0033994623040088.
14. *Асбаганов С.В.* Биологические основы интродукции рябины (*Sorbus* L.) в Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 17 с.
15. *Арестова Е.А.* Сезонный ритм развития видов *Sorbus* L. и *Aronia* L. при интродукции в городе Саратове // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. – 2011. – № 9 (104). – С. 146–150.
16. *Хархота Л.В., Лихацкая Е.Н.* Коллекция видов рода *Sorbus* L. в Донецком ботаническом саду // Научные труды Чебоксарского филиала ГБС РАН. – 2019. – № 12. – С. 62–66.
17. *Чукуриди С.С.* Биологические особенности интродуцентов семейства *Rosaceae* Adans и возможности их использования в садоводстве Северо-Западного Кавказа: автореф. дис. … д-ра биол. наук. – 2004. – 48 с.
18. *Залибеков М.Д., Габибова А.Р.* Редкие виды *Sorbus* L., произрастающие в Дагестане, и их интродукция в Горном ботаническом саду // Бюллетень ГНБС. Декоративное садоводство. – 2021. – № 139. – С. 46–53. – DOI: 10.36305/0513-1634-2021-139-46-53.
19. *Федорова Д.Г.* Эколого-биологические особенности представителей родов *Aronia* Pers., *Crataegus* L., *Sorbus* L. при интродукции в условиях Оренбургского Предуралья (на примере г. Оренбурга): автореф. дис. … канд. биол. наук. – Оренбург, 2015. – 21 с.
20. *Атлас* Республики Башкортостан / Гл. ред. И.М. Яппаров. – Уфа, 2005. – 419 с.
21. *Рябчинский А.Е., Халфина Л.И.* Итоги фенологических наблюдений за древесными и кустарниковыми породами в дендропарке Башкирской ЛОС за 1954–1967 гг. //Сборник трудов по лесному хозяйству. Уфа, 1973. – Вып. IX. – С. 78–88.
22. *Габриэлян Э.Ц.* Рябины (*Sorbus* L.) Западной Азии и Гималаев. – Ереван, 1978. – 258 с.
23. *Абдуллина Р.Г., Вафин Р.В.* Фенологическая атипичность интродуцированных видов рода *Sorbus* L. в Уфимском ботаническом саду // Научные ведомости БГУ. Сер. Естественные науки. – 2011. – № 15/1–9 (104). – С. 86–91.
24. *Зайцев Г.Н.* Фенология древесных растений. – М., 1981. – 120 с.
25. *Лапин П.И., Сиднева С.В.* Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений. Опыт интродукции древесных растений. – М., 1973. – С. 7–67.
26. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
27. *Абдуллина Р.Г., Путенихин В.П.* Вегетативное размножение интродуцированных рябин // Аграрная Россия. – 2009. – Т. 52. – С. 74–75.
28. *Абдуллина Р.Г.* Зимостойкость некоторых видов и сортов рябин (*Sorbus* L.) в условиях Ботанического сада г. Уфы // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2013. – № 2. – С. 83–86.
29. *Абдуллина Р.Г.* Сезонный ритм развития рябин (*Sorbus* L.) в Южно-Уральском ботаническом саду-институте г. Уфы за период 2005–2017 гг. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2018. – № 2. – С. 44–48.

## REFERENCES

1. McAllister H., The genus *Sorbus*. Mountain ash and other rowans. Published by The Royal Botanic Gardens, Kew, 2005, 252 p.
2. Konovalov I.N., *Rod 16. Ryabina – Sorbus L. Derev'ya i kustarniki SSSR* (Genus 16. Rowan – Sorbus L. Trees and shrubs of the USSR.), Moscow; Leningrad, 1954, Vol. 3, pp. 458–486. (In Russ.).
3. Alekseev Yu.E., Galeeva A.Kh., Gubanov I.A. [i dr.], *Opredelitel' vysshikh rasteniy Bashkirskoy ASSR* (Identifier of higher plants of the Bashkir ASSR), Moscow, 1989, 374 p. (In Russ.).
4. Rengarten G.A., Sorokopudov V.N., *Ecosystems*, 2019, No. 18, pp. 89–96. (In Russ.).
5. Strockaya O.V., *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2018, No. 7–4 (25), pp. 116–121, DOI: 10.24411/2309-4370-2018-14120. (In Russ.).
6. Goncharova O.A., *Estestvennye nauki. Severokavkazskiy region*, 2019, No. 1, pp. 101–105. (In Russ.).
7. Goncharova O.A., *Hortus botanicus*, 2020, T. 15, DOI: 10.15393/j4.art.2020.7586. (In Russ.).
8. Firsov G.A., Vasil'ev N.R., *Rastitel'nyy mir aziatskoy Rossii*, 2015, No. 4, pp. 86–93. (In Russ.).

9. Firsov G.A., Volchanskaya A.V., Yandovka L.F., *Rastitel'nyy mir Aziatskoy flory*, 2019, No. 1(33), pp. 101–107, DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2019-1(101-107). (In Russ.).
10. Kazarova S.Yu., Bojko G.A., *GBS Bulletin*, 2018, No. 204 (4), pp. 17–21. (In Russ.).
11. Ermakov M.A., Volkova O.D., Khotsialova L.I. [i dr.], *Hortus botanicus*, 2019, T. 14, DOI: 10.15393/j4.art.2019.6224. (In Russ.)
12. Kishchenko I.T., *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2019, No. 2 (42), pp. 84–93, DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.84. (In Russ.)
13. Platonova E.A., Magerramova E.M., Timokhina T.A., Sergienko L.A., *Plant Resources*, 2023, No. 59 (4), pp. 394–411, DOI: 10.31857/S0033994623040088. (In Russ.)
14. Asbaganov S.V., *Biologicheskie osnovy introduktsii ryabiny (Sorbus L.) v Zapadnoy Sibiri* (Biological bases of introduction of rowan (Sorbus L.) in Western Siberia), Author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences, Novosibirsk, 2014, 17 p. (In Russ.).
15. Arestova E.A., *Scientific Vedomosti. Ser. Natural Sciences,* 2011, No. 9 (104), pp. 146–150. (In Russ.).
16. Harhota L.V., Lihackaya E.N., *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala GBS RAN*, 2019, No. 12, pp. 62–66. (In Russ.).
17. Chukuridi S.S., *Biologicheskie osobennosti introdutsentov semeystva Rosaceae Adans i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya v sadovodstve Severo-Zapadnogo Kavkaza* (Biological characteristics of introduced species of the Rosaceae Adans family and the possibilities of their use in horticulture in the North-West Caucasus), Author's abstract. diss. … Doctor of Biological Sciences, 2004, 48 pp.
18. Zalibekov M.D., Gabibova A.R., *Byulleten' GNBS. Dekorativnoe sadovodstvo*, 2021, No. 139, pp. 46–53, DOI: 10.36305/0513-1634-2021-139-46-53. (In Russ.)
19. Fedorova D.G., *Ekologo-biologicheskie osobennosti predstaviteley rodov Aronia Pers., Crataegus L., Sorbus L. pri introduktsii v usloviyakh Orenburgskogo Predural'ya (na primere g. Orenburga)* (Ecological and biological characteristics of representatives of the genera Aronia Pers., Crataegus L., Sorbus L. during introduction in the conditions of the Orenburg Cis-Urals (on the example of the city of Orenburg)), Author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences, 2015, 21 p.
20. *Atlas of the Republic of Bashkortostan* (Atlas of the Republic of Bashkortostan), Yapparov I.M. (gl. red.), Gl. red. I.M. Yapparov, Ufa, 2005, 419 p. (In Russ.)
21. Ryabchinskij A.E., Halfina L.I., *Itogi fenologicheskikh nablyudeniy za drevesnymi i kustarnikovymi porodami v dendroparke Bashkirskoy LOS za 1954–1967 gg. Sbornik trudov po lesnomu khozyaystvu* (Results of phenological observations of tree and shrub species in the arboretum of the Bashkir LOS for 1954–1967. Collection of works on forestry), Ufa, 1973, No. 9, pp. 78–88.
22. Gabrielyan E.C., *Ryabiny (Sorbus L.) Zapadnoy Azii i Gimalaev* (Rowan (Sorbus L.) of Western Asia and the Himalayas), Yerevan, 1978, 258 p.
23. Abdullina R.G., Vafin R.V., *Nauchnye vedomosti BGU. Ser. Estestvennye nauki*, 2011, No. 9 (104), pp. 86–91. (In Russ.).
24. Zajcev G.N., *Fenologiya drevesnykh rasteniy* (Phenology of woody plants), Moscow, 1981, 120 p.
25. Lapin P.I., Sidneva S.V., *Otsenka perspektivnosti introduktsii drevesnykh rasteniy po dannym vizual'nykh nablyudeniy. Opyt introduktsii drevesnykh rasteniy* (Evaluation of the Prospects of Introducing Woody Plants Based on Visual Observations. Experience in Introducing Woody Plants), Moscow, 1973. pp. 7–67.
26. Alekseev V.A., *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57. (In Russ.).
27. Abdullina R.G., Putenihin V.P., *Agrarnaya Rossiya*, 2009, No. 52, pp. 74–75. (In Russ.).
28. Abdullina R.G., *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2013, No. 2, pp. 83–86. (In Russ.).
29. Abdullina R.G., *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2018, No. 2, pp. 44–48. (In Russ.)

**Информация об авторе:**
*Р.Г. Абдуллина,* кандидат биологических наук, научный сотрудник

**Contribution of the author:**
*R.G. Abdullina,* PhD in Biology, research fellow

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-15-30
УДК 581.143.6:631.8:634.75

# БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ–РЕГЕНЕРАНТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ *EX VITRO* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЕЛАТОВ КРЕМНИЯ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

**[1]Е.В. Амброс, [2]Е.Г. Трофимова**

*[1]Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*

*[2]Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** ambros_ev@mail.ru

**Для цитирования:** *Амброс Е.В., Трофимова Е.Г.* Биотехнология получения растений–регенерантов земляники садовой *ex vitro* с использованием хелатов кремния из возобновляемого растительного сырья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 15–30. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-15-30.

**Ключевые слова:** земляника садовая, хелаты кремния, возобновляемое растительное сырье, механокомпозит, адаптация *ex vitro,* ростостимулирующий эффект, содержание кремния.

**Реферат.** *Одной из проблем недостаточных объемов возделывания земляники садовой в Новосибирской области является отсутствие промышленного производства высококачественного посадочного материала, от которого напрямую зависит урожайность культуры. Технология клонального микроразмножения может помочь решить проблему получения генетически идентичного оздоровленного посадочного материала высокого качества. Эффективность клонального микроразмножения в значительной степени зависит от оптимизации этапов культивирования. Изучены адаптивные реакции растений–регенерантов земляники садовой (‘Солнечная полянка’, ‘Альфа’) при укоренении и адаптации в условиях ex vitro под действием экологически чистого кремнийсодержащего механокомпозита из возобновляемого растительного сырья. Для стимуляции ризогенеза у микропобегов применяли: полив водным раствором питательной среды Мурасиге–Скуга, содержащим ¼ концентрации стандартных компонентов среды; импульсную обработку водным раствором 30 мг/л индолилуксусной кислоты (течение 4 часов) с последующим поливом раствором ¼ Мурасиге–Скуга; однократный полив раствором ¼ Мурасиге–Скуга с добавлением 0,3, 1,0, 3,0 г/л механокомпозита; опудривание базальной части микропобегов механокомпозитом с последующим поливом раствором ¼ Мурасиге–Скуга. Установлено, что опудривание базальной части микропобегов механокомпозитом наиболее эффективный способ обработки регенерантов в условиях ex vitro. Опудривание механокомпозитом существенно увеличивало частоту ризогенеза (до 95 % против 25-45 % в контроле), стимулировало развитие корневой системы (длина корней увеличивалась относительно контроля в 2,5–4,3 раза, число корней на растение – в 1,2–2,0 раза, сухая масса корней – в 3,0 раза у сорта ‘Альфа’) и надземной системы растений (площадь листовой пластинки увеличивалась в 1,2–2,0 раза, сухая масса побегов – в 2,6–3,7 раза), повышало содержание основных фотосинтетических пигментов в листьях регенерантов (содержание хлорофилла a + b увеличивалось в 1,2 раза, каротиноидов – в 1,2–1,4 раза). Под действием механокомпозита листья регенерантов приобретали признаки ксероморфной организации. Отмечено увеличение плотности устьиц на абаксиальной стороне листа у сорта ‘Альфа’ (в 1,4 раза), интенсивное накопление эпикутикулярных восков на нижней эпидерме листовых пластинок регенерантов двух сортов. Определено, что кремний аккумулируется в наземной части регенерантов земляники садовой. Минимальное содержание кремния было в контроле (2020 мкг/г), под действием механокомпозита содержание кремния увеличивалось (до 3500 мкг/г при поливе и 3200 мкг/г при опудривании механокомпозитом). Разработанная технология позволяет исключить этап укоренения in vitro и сократить общий цикл клонального микроразмножения на 4 недели, обеспечивая высокое качество посадочного материала земляники садовой.*

# BIOTECHNOLOGY OF OBTAINING GARDEN STRAWBERRY REGENERATE PLANTS EX VITRO USING SILICON CHELATES FROM RENEWABLE PLANT RAW MATERIALS

**[1]E.V. Ambros, [2]E.G. Trofimova**

*[1]Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia*

*[2]Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** ambros_ev@mail.ru

**Keywords:** garden strawberry, silicon chelates, renewable plant materials, mechanocomposite, *ex vitro* acclimation, growth-stimulating effect, silicon content

**Abstract.** *One of the problems of insufficient cultivation of garden strawberries in the Novosibirsk region is the lack of industrial production of high-quality planting material, on which the crop yield directly depends. The technology of clonal micropropagation can help to solve the problem of obtaining genetically identical healthy planting material of high quality. The efficiency of clonal micropropagation largely depends on the optimization of the cultivation stages. Adaptive responses of garden strawberry regenerants ('Solnechnaya Polyanka', 'Alpha') during rooting and ex vitro acclimation under the influence of an environmentally friendly silicon-containing mechanocomposite made from renewable plant materials were studied. To stimulate rhizogenesis in microshoots the following treatments were used: watering with an aqueous solution of Murashige-Skoog nutrient medium containing ¼ concentration of standard medium components; pulse treatment with an aqueous solution of 30 mg/l indoleacetic acid (for 4 hours) followed by watering with a solution of ¼ Murashige-Skoog; a single watering with a solution of ¼ Murashige-Skoog with the addition of 0.3, 1.0, 3.0 g/l of mechanocomposite; dry dipping the basal part of the microshoots with a mechanocomposite followed by watering with a solution of ¼ Murashige-Skoog. It was found, that dry dipping the basal part of the microshoots with a mechanocomposite is the most effective treatment method of regenerants in ex vitro conditions. This treatment significantly increased the frequency of rhizogenesis (up to 95% versus 25-45% in the control), stimulated the development of the root system (the length of the roots increased relative to the control by 2.5-4.3 times, the number of roots per plant - by 1.2-2.0 times, the dry weight of the roots - by 3.0 times for the cv. 'Alpha') and the above-ground system of plants (the area of the leaf blade increased by 1.2-2.0 times, the dry weight of the shoots - by 2.6-3.7 times), increased the content of the main photosynthetic pigments in the leaves of the regenerants (the content of chlorophyll a + b increased by 1.2 times, carotenoids - by 1.2-1.4 times). Under the influence of the mechanocomposite, the leaves of the regenerants acquired signs of a xeromorphic organization. An increase in the density of stomata on the abaxial side of the leaf in the cv. 'Alpha' (by 1.4 times), intensive accumulation of epicuticular waxes on the lower epidermis of the leaf blades of the regenerants of two cultivars was noted. It was determined that silicon accumulates in the above-ground part of the garden strawberry regenerants. The minimum silicon content was in the control (2020 μg/g), under the influence of the mechanocomposite, the silicon content increased (up to 3500 μg/g with watering and 3200 μg/g with dusting with the mechanocomposite). The developed technology allows to eliminate the in vitro rooting stage and reduce the overall clonal micropropagation cycle by 4 weeks, ensuring high quality of garden strawberry planting material.*

Нестабильность урожаев сельскохозяйственных культур требует внедрения эффективных технологий возделывания с использованием экологически чистых препаратов, повышающих устойчивость растений к негативным факторам среды. Земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier.) – востребованная и широко распространенная ягодная культура во многих регионах России, в том числе и в Новосибирской области. Это связано с ее биологическими особенностями, пищевым, лекарственным значением. В связи с этим одной из задач является развитие сырьевой базы, которая во многом зависит от качества посадочного материала, получение которого возможно с помощью биотехнологических подходов, в частности, с использованием клонального микроразмножения. В основе технологии лежит метод культивирования растительного материала на искусственных питательных средах *in vitro*. К преимуществам размножения растений *in vitro* относится не только возможность оздоровления посадочного материала, репродукции востребованных сортов за короткий период, длительное сохранение растительного материала в условиях *in vitro*, но и высокая экономическая эффективность метода [1]. Несмотря на эффективность, размножение *in vitro,* как правило, сопровождается различными типами стрессорных воздействий (высокая влажность воздуха, недостаток кислорода, повышенное осмотическое давление), способствующих формированию специфического фенотипа растений *in vitro*. У микрорастений слабо развиты кутикулярные покровы, фотосинтезирующие ткани, устьичный аппарат, корневая система [2]. При переносе из условий *in vitro* в нестерильные условия *ex vitro* микрорастениям необходимо адаптироваться к пониженной относительной влажности, повышенной интенсивности света, изменению температуры, взаимодействию с почвенной микрофлорой. Поэтому поиск подходов, обеспечивающих эффективный рост и развитие растений в условиях *ex vitro*, является актуальным [3].

Интерес для сельского хозяйства представляют соединения кремния. Кремний оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, повышает урожайность и улучшает качество

продукции, повышает устойчивость растений к различным стрессовым воздействиям [4–10]. Однако четкого представления об эффективности кремния в биологии и сельском хозяйстве на данный момент не существует. Разработано большое количество синтетических кремнийсодержащих препаратов, используемых для стимуляции роста и развития растений [10, 11], производство которых, как правило, сопряжено с загрязнением окружающей среды (экстракция органическими растворителями) и высокой стоимостью, что ограничивает их применение.

Перспективным в настоящее время является использование хелатных комплексов кремния на основе возобновляемого растительного сырья, полученных с помощью твердофазных механохимических методов без органических растворителей [12]. В результате такой обработки растительное сырье и реагенты остаются в устойчивой твердой форме, что полностью предотвращает их окисление и потери биологической активности. Кроме того, биогенный кремний является наиболее физиологически активным по сравнению с неорганическими силикатами, поскольку находится в аморфном состоянии. Поэтому он наиболее эффективно усваивается растениями, что обусловливает перспективность его применения в биотехнологиях. В этой связи мы предполагаем, что обработка механокомпозитом на основе хелатов кремния [13] повысит устойчивость растений–регенерантов земляники садовой к стрессовым факторам *ex vitro* за счет структурных и физиологических адаптаций.

Таким образом, настоящее исследование направлено на расширение спектра росторегулирующих веществ в технологиях клонального микроразмножения. Для достижения цели поставлены конкретные задачи: 1) определить действие механокомпозита из хелатов кремния на рост и развитие растений–регенерантов земляники садовой при укоренении и адаптации *ex vitro*; 2) установить взаимосвязь между различными концентрациями механокомпозита, физиологическими, микро-морфологическими изменениями вегетативных органов регенерантов, содержанием кремния для определения адаптационного потенциала у исследуемых генотипов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов для исследований использованы генотипы земляники садовой (*F. ananassa* cvs. ‘Альфа’, ‘Солнечная полянка’) из коллекции растений *in vitro* лаборатории биотехнологии Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск).

Механокомпозит (МК) получен в лаборатории химии твердого тела Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск). Специалистами лаборатории определены оптимальные технологические режимы механической обработки растительного сырья в полупромышленной центробежной роликовой мельнице РМ-20, приводящие к получению продукта, характеризующегося повышенной концентрацией хелатированных растворимых форм кремния (Si). Наиболее рациональными режимами с точки зрения химической и экономической эффективности признана частота вращения ротора 1200 rpm и скорость подачи сырья 43 кг/ч. Данный режим обеспечивает увеличение выхода хелатированных форм Si с 6 до 24 мг/л, что соответствует показателям, достигнутым на лабораторном уровне [14]. Основной составляющей МК является шелуха риса *Oryza sativa* L. сорта ‘Лиман’ (Краснодарский край, Россия) с высоким содержанием биогенного кремния и листья зеленого чая *Camelia sinensis* L. (Краснодарский край, Россия), содержащие хелатирующие функциональные группы, существенно повышающие растворимость Si с 6,5 до 34,1 мг/л. Химический состав МК следующий: экстрактивные вещества – 16,3±1,1 %; гемицеллюлоза – 22,3±0,8 %; лигнин – 20,2±1,5 %; целлюлоза – 38,9±2,0 %; катехины – 1,4±0,2 %; водорастворимый мономерный Si – 34,0±0,7 мг/л. Массовое соотношение рисовой шелухи и зеленого чая в МК – 10 : 1.

В экспериментах использовали микропобеги *F. ananassa* высотой 2,0–3,0 см, с двумя–тремя сформированными листьями, без корневой системы, в возрасте 12 недель. Для стимуляции ризогенеза *ex vitro* применяли следующие способы обработок микропобегов:

контрольную группу растений увлажняли водным раствором, содержащим ¼ концентрации стандартных компонентов среды Мурасиге–Скуга (МС) [15];

импульсную обработку в течение 4 ч водным раствором 30 мг/л индолилуксусной кислоты (ИУК), с последующим поливом раствором ¼ МС (используемая для получения максимального эффекта концентрация ауксина подобрана в предварительных экспериментах);

однократный полив раствором ¼ МС с добавлением 0,3; 1,0; 3,0 г/л МК. Для экспериментов использован свежий водный раствор МК, приго-

товленный путем перемешивания дистиллированной воды комнатной температуры и МК в разных концентрациях с последующим настаиванием в течение 1 ч при комнатной температуре;

опудривание базальной части микропобегов МК с последующим поливом раствором ¼ МС.

После обработок микропобеги помещали в вегетационные кассеты со стерильным кварцевым песком с объемом ячеек 90 см$^3$. Под каждое растение вносили путем полива 20 мл питательного раствора таким образом, чтобы влагоемкость песка составила 60 %. По мере высыхания субстрат увлажняли раствором ¼ МС. Опыты проводили в двухкратной повторности, в каждом варианте использовано 20 микрорастений. Первые 10 сут растения находились в микропарнике (влажность 90–95 %), затем влажность постепенно снижали до 70–80 %. Продолжительность адаптационного периода составила 30 сут.

Культуры содержали под люминесцентными лампами холодного белого света (TL-D 36W/54-765, производитель Philips) с интенсивностью 3000 лк, с периодом освещения 16 ч при температуре 23±2 °С.

Через 30 сут адаптации оценивали ростовые параметры растений-регенерантов, морфоанатомические параметры листьев, содержание основных фотосинтетических пигментов в листьях и содержание кремния (Si) в наземной части регенерантов.

Анализировали следующие показатели: частота ризогенеза, %; длина корней и микробегов, см; число корней и листьев / микробег, шт.; площадь листовых пластинок, см$^2$; сырая и сухая масса корней и микропобегов, г. Сухую массу растительного материала определяли трехкратным высушиванием до постоянного веса при температуре 75 °С в течение 2 ч. Площадь листовых пластинок у растений рассчитывали с помощью программы SIAMS Photolab с дополнительным модулем SIAMS MesoPlant (SIAMS, Россия).

Внешнюю морфологию листьев анализировали с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi TM-1000 (Япония) с оригинальным программным обеспечением. Для анализа вырезали секции из средней части листьев (5–7 мм$^2$) с десяти растений. Измеряли десять листьев на обработку, используя один лист на растение. Устьичную плотность на 1 мм$^2$ рассчитывали на 10 отдельных неповторяющихся полей зрения для каждого листа. Анатомические особенности устьиц (полярный и экваториальный диаметры, мкм) определяли для трехсот случайно выбранных устьиц. Исследование эпикутикулярного покрова регенерантов проводили на электронном сканирующем микроскопе EVO MA-10 с программой SmartSEM (CarlZeiss, Германия). Анализировали секции из средней части сухих листьев (5–7 мм$^2$) растений. Листья покрывали в атмосфере аргона тонким слоем золота (толщиной приблизительно 10 нм) с использованием установки для напыления Mini SC 7620 (Quorum Technologies, Великобритания).

Содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) в листьях регенерантов определяли с помощью спектрофотометрического метода. Суммарное количество хлорофиллов и каротиноидов в микропобегах определяли в ацетоновом экстракте на спектрофотометре СФ-26 (Ломо). Оптическую плотность раствора измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* (662 нм) и *b* (644 нм), каротиноидов (440,5 нм). Расчет концентрации пигментов проводили по уравнениям Ветштейна и Хольма: Ca = 9,784D662 – 0,99D644, Cb = 21,426D644 – 4,650D662, Ca + Cb = 5,134D662 + 20,436D644; Скар = 4,695D440,5 – 0,268(Ca + Cb) [16].

Содержание пигментов, мг/г, находили по формуле $x = C*V*V2*100/н*V1*1000$, где *C* – концентрация пигмента, мг/дм$^3$; *V* – объем исходной вытяжки, см$^3$; *V*1 – объем исходной вытяжки, взятой для разбавления, см$^3$; *V*2 – объем разбавленной вытяжки, см$^3$; *н* – масса навески. Расчеты вели на массу сырого сырья [17]. Образцы готовили в трех биологических и трех аналитических повторностях.

Для анализа взяты навески около 1 г, все образцы озоляли под ИК-лампой и прокаливали при 550 °С в течение 2 ч. К остатку добавляли по 1–2 мл воды и по 0,30 г КОН. Пробы высушивали и сплавляли при 550 °С в течение 10 мин, затем плав растворяли в воде и количественно переносили в пластиковые пробирки на 50 мл, подкислив 2 мл концентрированной соляной кислоты. Непосредственно перед измерением пробы дополнительно разбавляли с введением внутреннего стандарта – In с концентрацией 1 мкг/л. Измерения кремния по трем изотопам 28,29,30Si выполнено на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно-связанной плазмой ELEMENT Finnigan MAT в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) в среднем разрешении для отделения спектральных наложений [18, 19]. Правильность ИСП-МС методики подтверждена анализом растительных стандартных образцов с

аттестованным значением содержания Si – элодея канадская (ЭК-1), травосмесь (Тр-1), лист березы (ЛБ-1). Погрешность анализа составляет менее 10 %, если содержание кремния в образце выше предела обнаружения (10 мкг/г) примерно на порядок.

Данные представлены в виде средних значений и стандартных ошибок (M±m). Для сравнения средних значений независимых выборок использовали многоранговый тест Дункана (однофакторный дисперсионный анализ). Взаимодействие между факторами «сорт» и «способ обработки» оценивали с помощью многофакторного дисперсионного анализа. Различия считали достоверными при достигнутом уровне значимости $p \leq 0,05$.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Применение МК существенно повлияло на укоренение и развитие корневой системы регенерантов (табл. 1). Частота ризогенеза у исследованных сортов в конце периода адаптации варьировала от 25 до 95 % в зависимости от типа обработки. Максимальное количество укорененных растений наблюдалось при применении МК (до 95 %). В вариантах с импульсной обработкой 30 мг/л ИУК, частота ризогенеза достигала 80 %. Наименьший процент ризогенеза получен в контрольных вариантах (до 45 %), при поливе растворами МК в концентрациях 1,0 и 3,0 г/л (до 50 %). В конце адаптационного периода корневая система при обработке ауксином и МК отличалась сильным ростом и имела корни второго порядка. Статистически значимые различия в росте и развитии корневой системы и надземной части земляники определены в зависимости от способа обработки микропобегов. Максимальные результаты по всем параметрам развития корневой и надземной систем получены при опудривании основания микропобегов механокомпозитом (табл. 1, 2). Длина корней в зависимости от генотипа увеличивалась относительно контроля в 2,5–4,3 раза, количество корней – в 1,2–2,0 раза, сухая масса корней в 3,0–4,0 раза ($p \leq 0,05$).

*Таблица 1*

**Влияние способов обработки механокомпозитом на рост и развитие корневой системы микропобегов *F.* × *ananassa* на этапе укоренения и адаптации в условиях *ex vitro* (на 30-е сутки адаптации)**
**The influence of mechanocomposite treatments on the growth and development of the root system of *F.* × *ananassa* microshoots at the stage of rooting and *ex vitro* acclimation (on the 30th day of acclimation)**

| Сорт | Способ обработки | Ризогенез, % | Длина корней, см | Кол-во корней, шт. | Сухая масса корней, г |
|---|---|---|---|---|---|
| ‘Альфа’ | ¼ МС (контроль) | 25 | 1,67±0,60$^{d}$ | 5,00±0,58$^{ab}$ | 0,003±0,002$^{b}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 50 | 4,90±0,23$^{b}$ | 6,10±0,35$^{a}$ | 0,003±0,001$^{b}$ |
| | 0,3 г/л МК | 65 | 3,20±0,36$^{c}$ | 6,70±0,60$^{a}$ | 0,003±0,001$^{b}$ |
| | 1,0 г/л МК | 35 | 4,25±0,28$^{bc}$ | 6,00±0,45$^{a}$ | 0,003±0,001$^{b}$ |
| | 3,0 г/л МК | 50 | 3,56±0,26$^{c}$ | 4,11±0,56$^{b}$ | 0,002±0,0002$^{b}$ |
| | Опудривание МК | 95 | 7,15±0,54$^{a}$ | 6,10±0,31$^{a}$ | 0,012±0,002$^{a}$ |
| ‘Солнечная полянка’ | ¼ МС (контроль) | 45 | 2,16±0,28$^{d}$ | 3,53±0,29$^{c}$ | 0,001±0,0002$^{b}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 80 | 4,90±0,26$^{a}$ | 5,67±0,29$^{b}$ | 0,003±0,0004$^{a}$ |
| | 0,3 г/л МК | 70 | 3,03±0,29$^{bc}$ | 6,33±0,35$^{ab}$ | 0,003±0,0004$^{a}$ |
| | 1,0 г/л МК | 50 | 3,79±0,12$^{b}$ | 3,47±0,29$^{c}$ | 0,002±0,0003$^{ab}$ |
| | 3,0 г/л МК | 38 | 2,40±0,24$^{cd}$ | 3,13±0,27$^{c}$ | 0,002±0,0004$^{ab}$ |
| | Опудривание МК | 95 | 5,30±0,38$^{a}$ | 7,00±0,31$^{a}$ | 0,003±0,0004$^{a}$ |
| *Дисперсионный анализ* | | | | | |
| Сорт (А) | | | Нет различий | Нет различий | Нет различий |
| Способ обработки (Б) | | | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 |
| А × Б | | | Нет различий | Нет различий | Нет различий |

*Примечание.* Данные представлены в виде M ± m. Средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана. Значения достоверны при $p \leq 0,05$*.

Высота розетки увеличилась относительно контроля в 1,2–1,3 раза, количество листьев – в 1,6 раза, площадь листовой пластинки – в 1,2–2,2 раза, сухая масса побегов – в 2,6–3,7 раза ($p \leq 0,05$) в зависимости от генотипа соответственно (см. табл. 2).

*Таблица 2*

**Влияние способов обработки механокомпозитом на рост и развитие надземной части *F. ananassa* на этапе укоренения и адаптации в условиях *ex vitro* (на 30-е сутки адаптации)**
**The influence of mechanocomposite treatments on the growth and development of the aboveground part of *F.* × *ananassa* at the stage of rooting and *ex vitro* acclimation (on the 30th day of acclimation)**

| Сорт | Способ обработки | Высота розетки, см | Кол-во листьев, шт. | Площадь листовой пластинки, см$^2$ | Сухая масса побегов, г |
|---|---|---|---|---|---|
| ‘Альфа’ | ¼ МС (контроль) | 3,17±0,93$^{b}$ | 5,67±0,88$^{b}$ | 1,35±0,20$^{c}$ | 0,016±0,008$^{c}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 4,20±0,20$^{b}$ | 6,90±0,31$^{a}$ | 1,50±0,08$^{c}$ | 0,031±0,003$^{b}$ |
| | 0,3 г/л МК | 4,50±0,31$^{b}$ | 5,90±0,35$^{ab}$ | 1,80±0,09$^{bc}$ | 0,028±0,004$^{bc}$ |
| | 1,0 г/л МК | 3,67±0,21$^{b}$ | 7,00±0,45$^{a}$ | 2,04±0,12$^{b}$ | 0,028±0,005$^{bc}$ |
| | 3,0 г/л МК | 3,61±0,14$^{b}$ | 5,33±0,37$^{b}$ | 1,56±0,12$^{c}$ | 0,020±0,002$^{bc}$ |
| | Опудривание МК | 6,05±0,34$^{a}$ | 6,30±0,15$^{ab}$ | 2,91±0,16$^{a}$ | 0,059±0,003$^{a}$ |
| ‘Солнечная полянка’ | ¼ МС (контроль) | 3,23±0,19$^{b}$ | 4,27±0,27$^{b}$ | 1,19±0,12$^{b}$ | 0,010±0,002$^{b}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 4,70±0,29$^{a}$ | 6,40±0,25$^{a}$ | 1,52±0,17$^{a}$ | 0,028±0,004$^{a}$ |
| | 0,3 г/л МК | 4,40±0,27$^{a}$ | 6,80±0,24$^{a}$ | 1,30±0,12$^{b}$ | 0,021±0,003$^{a}$ |
| | 1,0 г/л МК | 3,80±0,12$^{b}$ | 5,60±0,19$^{a}$ | 1,33±0,19$^{b}$ | 0,015±0,002$^{b}$ |
| | 3,0 г/л МК | 3,83±0,19$^{b}$ | 6,13±0,27$^{a}$ | 1,26±0,15$^{b}$ | 0,012±0,003$^{b}$ |
| | Опудривание МК | 4,17±0,21$^{a}$ | 6,80±0,22$^{a}$ | 1,41±0,12$^{a}$ | 0,026±0,004$^{a}$ |
| *Дисперсионный анализ* | | | | | |
| Сорт (А) | | Нет различий | *$p$ = 0,005 | Нет различий | Нет различий |
| Способ обработки (Б) | | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 |
| А × Б | | *$p$ = 0,007 | Нет различий | Нет различий | Нет различий |

*Примечание.* Данные представлены в виде M ± m. Средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана. Значения достоверны при $p \leq 0,05$*.

Установлены различия по содержанию основных фотосинтетических пигментов и их соотношениям при разных обработках, что указывает на физиологическую неоднородность регенерантов и, как следствие, влияет на рост и продуктивность фотосинтеза. Применение МК путем опудривания микропобегов и в вариантах с 30 мг/л ИУК достоверно увеличивали содержание хлорофиллов *a*, *b*, *a* + *b* относительно контроля в среднем до 20 % ($p \leq 0,05$). Содержание каротиноидов отмечено выше или на уровне контроля во всех вариантах. Каротиноиды предотвращают окисление хлорофилла молекулярным кислородом и регулируют степень адаптации растений к высокой интенсивности света. Увеличение содержания каротиноидов у регенерантов свидетельствует о повышенных защитных свойствах их пигментного комплекса. Проведенный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий, обнаруженных между факторами «сорт», «способ обработки» по содержанию хлорофиллов *a*, *b*, *a* + *b* ($p \leq 0,05$) (табл. 3). Увеличение отношения содержания хлорофиллов *a*/*b* является признаком высокой потенциальной интенсивности фотосинтеза. Результаты нашего эксперимента показали, что при всех обработках МК соотношение хлорофиллов было выше или на уровне контроля, что подтверждает оптимальное состояние ростовых параметров надземной части и корневой системы регенерантов и свидетельствует об интенсивных процессах фотосинтеза.

*Таблица 3*

**Влияние способов обработки механокомпозитом на содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сырого веса в листьях регенерантов *F.* × *ananassa* на этапе укоренения и адаптации в условиях *ex vitro* (на 30-е сутки адаптации)**

**The influence of mechanocomposite treatments on the content of photosynthetic pigments (mg/g wet weight) in leaves of *F.* × *ananassa* regenerants at the stage of rooting and *ex vitro* acclimation (on the 30th day of acclimation)**

| Сорт | Способ обработки | Хлорофилл | | | | Каротиноиды | *a* + *b*/ каротиноиды |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *a* | *b* | *a* + *b* | *a* / *b* | | |
| ‘Солнечная полянка’ | ¼ МС (контроль) | 0,87±0,06$^{b}$ | 1,22±0,05$^{bc}$ | 2,09±0,12$^{b}$ | 0,71±0,02$^{b}$ | 0,33±0,05$^{d}$ | 6,2±0,6$^{a}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 1,02±0,03$^{a}$ | 1,38±0,08$^{ab}$ | 2,39±0,10$^{a}$ | 0,74±0,02$^{a}$ | 0,50±0,03$^{a}$ | 4,9±0,5$^{b}$ |
| | 0,3 г/л МК | 0,90±0,03$^{b}$ | 1,24±0,06$^{bc}$ | 2,14±0,003$^{b}$ | 0,73±0,01$^{ab}$ | 0,41±0,05$^{bc}$ | 5,4±0,6$^{b}$ |
| | 1,0 г/л МК | 0,88±0,03$^{b}$ | 1,24±0,07$^{bc}$ | 2,12±0,01$^{b}$ | 0,73±0,01$^{ab}$ | 0,38±0,03$^{cd}$ | 5,6±0,3$^{b}$ |
| | 3,0 г/л МК | 0,83±0,03$^{b}$ | 1,13±0,01$^{c}$ | 1,97±0,01$^{b}$ | 0,74±0,003$^{a}$ | 0,37±0,01$^{cd}$ | 5,4±0,1$^{b}$ |
| | Опудривание МК | 1,03±0,12$^{a}$ | 1,41±0,16$^{a}$ | 2,44±0,28$^{a}$ | 0,71±0,01$^{b}$ | 0,47±0,01$^{ab}$ | 5,2±0,4$^{b}$ |
| ‘Альфа’ | ¼ МС (контроль) | 0,69±0,01$^{b}$ | 1,09±0,02$^{c}$ | 1,78±0,03$^{c}$ | 0,64±0,003$^{c}$ | 0,30±0,04$^{b}$ | 6,1±0,6$^{a}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 0,88±0,10$^{a}$ | 1,39±0,14$^{a}$ | 2,26±0,24$^{a}$ | 0,63±0,01$^{c}$ | 0,36±0,01$^{ab}$ | 6,3±0,5$^{a}$ |
| | 0,3 г/л МК | 0,82±0,07$^{ab}$ | 1,14±0,11$^{bc}$ | 1,95±0,17$^{abc}$ | 0,71±0,01$^{b}$ | 0,36±0,03$^{ab}$ | 5,4±0,1$^{bc}$ |
| | 1,0 г/л МК | 0,80±0,06$^{ab}$ | 1,08±0,08$^{c}$ | 1,88±0,15$^{bc}$ | 0,72±0,01$^{b}$ | 0,36±0,03$^{ab}$ | 5,2±0,2$^{c}$ |
| | 3,0 г/л МК | 0,79±0,05$^{ab}$ | 0,97±0,02$^{c}$ | 1,77±0,01$^{c}$ | 0,81±0,03$^{a}$ | 0,36±0,02$^{ab}$ | 4,9±0,1$^{c}$ |
| | Опудривание МК | 0,91±0,12$^{a}$ | 1,28±0,15$^{ab}$ | 2,19±0,27$^{ab}$ | 0,71±0,02$^{b}$ | 0,37±0,05$^{a}$ | 5,9±0,1$^{ab}$ |
| *Дисперсионный анализ* | | | | | | | |
| Сорт (А) | | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | Нет различий |
| Способ обработки (Б) | | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,001 | *$p$ = 0,000 |
| А × Б | | *$p$ = 0,002 | *$p$ = 0,025 | Нет различий | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,003 | *$p$ = 0,000 |

*Примечание.* Данные представлены в виде M ± m. Средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана. Значения достоверны при $p \leq 0,05$*.

Проведенный в конце периода адаптации морфометрический анализ выявил увеличение числа устьиц по сравнению с контролем до 40 % ($p \leq 0,05$) у регенерантов сорта ‘Альфа’, обработанных МК путем опудривания, что теоретически является гарантом успешной адаптации растений. Обработки растений сорта ‘Альфа’ МК в концентрациях 1,0 и 3,0 мг/л привели к уменьшению размеров устьичных щелей. У сорта ‘Солнечная полянка’ все обработки МК способствовали уменьшению размера устьичных щелей (табл. 4). Такие структурные изменения способствуют снижению транспирации и нормализации водного режима в целом, в том числе и при адаптации к условиям *ex vitro*.

*Таблица 4*

**Количество и размер устьиц абаксиальной стороны листа у регенерантов *F.* × *ananassa* под действием механокомпозита в условиях *ex vitro* (на 30-е сутки адаптации)**
**The number and size of stomata on the abaxial side of the leaf in *F.* × *ananassa* regenerants under the influence of mechanocomposite in *ex vitro* conditions (on the 30th day of acclimation)**

| Сорт | Способ обработки | Число устьиц на 1 мм$^2$ | Диаметр замыкающих клеток устьиц, мкм | | Полярный диаметр/ Экваториальный диаметр |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Полярный | Экваториальный | |
| ‘Альфа’ | ¼ МС (контроль) | 211,47±8,9$^{c}$ | 21,88±0,15$^{b}$ | 8,33±0,09$^{a}$ | 2,71±0,03$^{c}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 188,07±14,5$^{c}$ | 20,08±0,17$^{c}$ | 8,34±0,08$^{a}$ | 2,48±0,03$^{e}$ |
| | 0,3 г/л МК | 265,11±9,7$^{b}$ | 19,93±0,13$^{c}$ | 8,01±0,10$^{c}$ | 2,62±0,03$^{d}$ |
| | 1,0 г/л МК | 143,13±9,4$^{d}$ | 18,49±0,15$^{d}$ | 6,71±0,07$^{d}$ | 2,84±0,04$^{b}$ |
| | 3,0 г/л МК | 213,28±5,2$^{c}$ | 21,92±0,15$^{b}$ | 8,22±0,08$^{ab}$ | 2,73±0,03$^{c}$ |
| | Опудривание МК | 303,36±8,8$^{a}$ | 23,75±0,15$^{a}$ | 8,13±0,09$^{bc}$ | 3,06±0,04$^{a}$ |
| ‘Солнечная полянка’ | ¼ МС (контроль) | 272,74±11,8$^{a}$ | 19,16±0,22$^{d}$ | 9,30±0,10$^{a}$ | 2,14±0,03$^{d}$ |
| | 30 мг/л ИУК | 211,08±4,33$^{bc}$ | 21,92±0,11$^{c}$ | 8,63±0,18$^{b}$ | 2,72±0,03$^{b}$ |
| | 0,3 г/л МК | 239,93±7,5$^{b}$ | 18,86±0,17$^{e}$ | 7,62±0,08$^{d}$ | 2,58±0,03$^{c}$ |
| | 1,0 г/л МК | 206,51±10,0$^{d}$ | 19,42±0,15$^{d}$ | 7,82±0,08$^{c}$ | 2,54±0,03$^{c}$ |
| | 3,0 г/л МК | 222,28±7,0$^{bc}$ | 22,41±0,16$^{b}$ | 7,69±0,07$^{cd}$ | 2,98±0,03$^{a}$ |
| | Опудривание МК | 281,03±16,0$^{a}$ | 23,42±0,13$^{a}$ | 7,41±0,07$^{e}$ | 3,29±0,04$^{a}$ |
| Дисперсионный анализ | | | | | |
| Сорт (А) | | *$p$ = 0,000 | Нет различий | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 |
| Способ обработки (Б) | | Нет различий | *$p$ = 0,029 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 |
| А × Б | | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 | *$p$ = 0,000 |

*Примечание.* Данные представлены в виде M ± m. Средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана. Значения достоверны при $p \leq 0,05$*.

При изучении микроструктуры верхней и нижней эпидермы листьев контрольных и опытных растений отмечены изменения в накоплении эпикутикулярных восков (рис. 1, 2). Определено, что наиболее интенсивным образованием восков характеризовалась нижняя эпидерма листьев регенерантов, обработанных 30 мг/л ИУК (см. рис. 1, *г*; рис. 2, *г*) и МК путем опудривания (см. рис. 1, *е*; рис. 2, *е*).

В результате ИСП-МС анализа определено, что побеги растений-регенерантов, выращенные в условиях *ex vitro* под действием различных концентраций МК, аккумулируют Si (табл. 5). Определены колебания в количественном содержании элемента в зависимости от концентрации МК. Минимальное содержание было в контроле (1330 мкг/г у сорта ‘Солнечная полянка’ и 2020 мкг/г у сорта ‘Альфа’) и при поливе раствором МК в концентрации 0,3 г/л (1360 у сорта ‘Альфа’ и 1610 мкг/г у сорта ‘Солнечная полянка’), максимальное – при поливе 3,0 г/л МК (3500 мкг/г у сорта ‘Альфа’ и 3620 мкг/г ‘Солнечная полянка’). При опудривании основания микропобегов МК содержание Si составило 3200 мкг/г у сорта ‘Альфа’ и 2540 мкг/г у сорта ‘Солнечная полянка’.

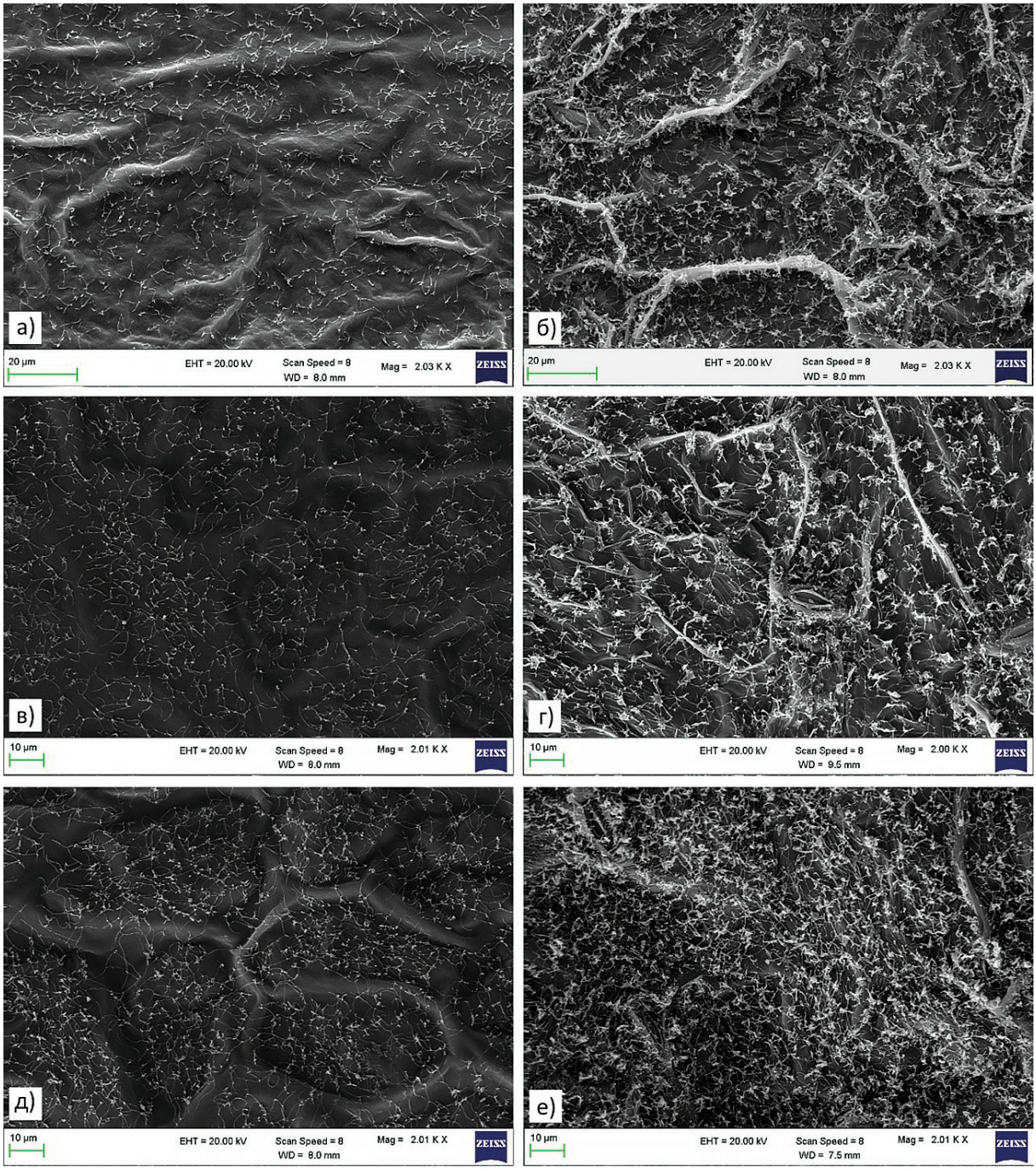



*Рис. 1.* Сравнение структуры верхней и нижней эпидермы листовых пластинок регенерантов *F.* × *ananassa* (‘Альфа’) на 30-е сутки адаптации *ex vitro*: *а*, *б* – полив раствором ¼ МС (контроль); *в*, *г* – после импульсной обработки 30 мг/л ИУК; *д*, *е* – после обработки МК путем опудривания микропобегов

Comparison of the structure of the upper and lower epidermis of leaf blades of *F.* × *ananassa* (‘Alpha’) regenerants on the 30th day of *ex vitro* acclimation: *a*, *b* – watering with a ¼ MS solution (control); *c*, *d* – after pulse treatment with 30 mg/l IAA; *d*, *e* – after treatment with MC by dry dipping microshoots

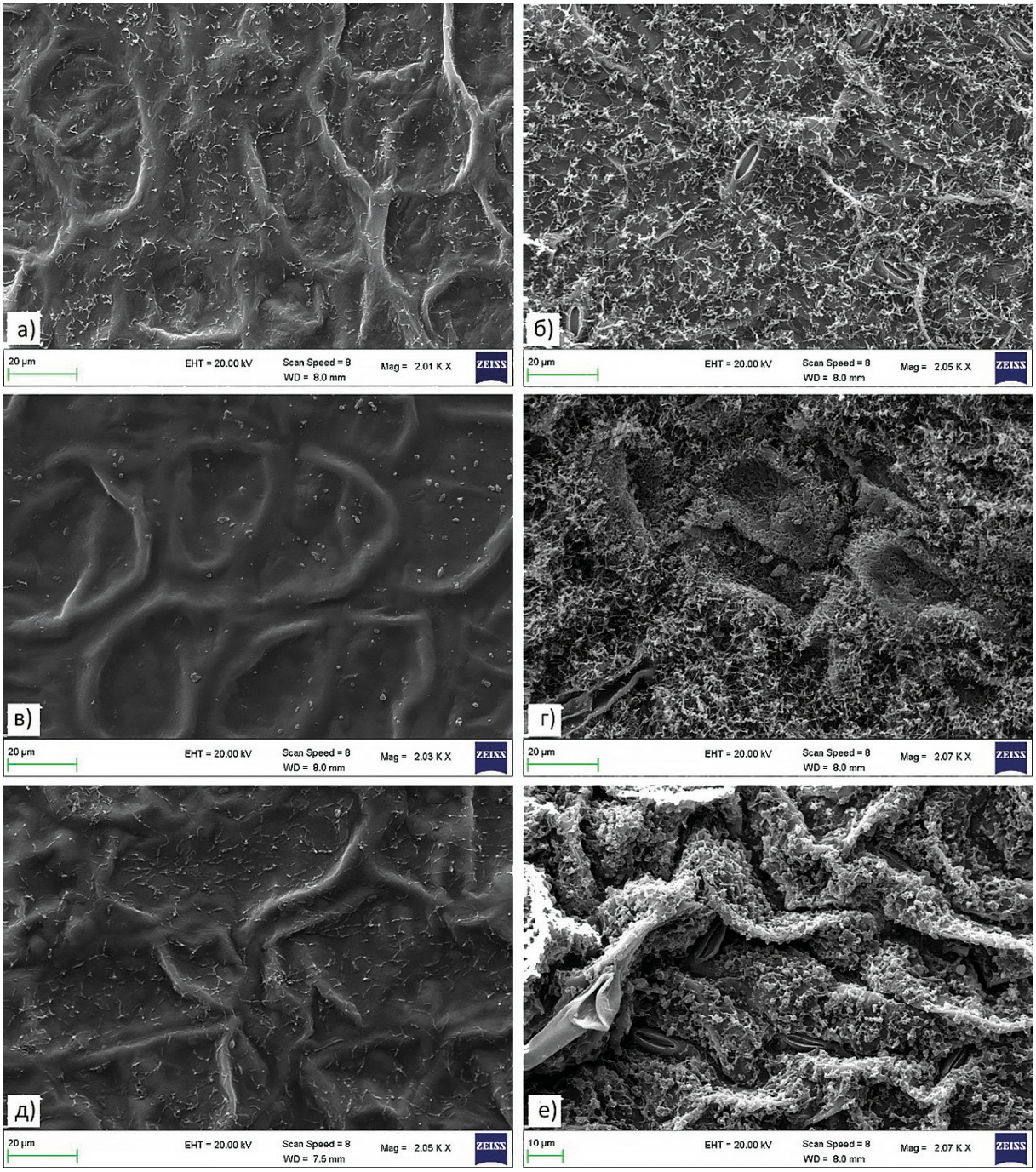



*Рис. 2.* Сравнение структуры верхней и нижней эпидермы листовых пластинок регенерантов *F.* × *ananassa* (‘Солнечная полянка’) на 30-е сутки адаптации *ex vitro*: *а*, *б* – полив раствором ¼ МС (контроль); *в*, *г* – после импульсной обработки 30 мг/л ИУК; *д*, *е* – после обработки МК путем опудривания микропобегов

Comparison of the structure of the upper and lower epidermis of leaf blades of *F.* × *ananassa* regenerants (‘Solnechnaya Polyanka’) on the 30th day of *ex vitro* acclimation: *a*, *b* – watering with a ¼ MS solution (control); *c*, *d* – after pulse treatment with 30 mg/l IAA; *d*, *e* – after treatment with MC by dry dipping microshoots

*Таблица 5*

**Содержание кремния (Si) в наземной части регенерантов *F.* × *ananassa* под действием механокомпозита в условиях *ex vitro* (на 30-е сутки адаптации)**
**Silicon (Si) content in the aboveground part of *F.* × *ananassa* regenerants under the influence of a mechanocomposite in *ex vitro* conditions (on the 30th day of acclimation)**

| Способ обработки | Концентрация Si, мкг/г | |
|---|---|---|
| | ‘Альфа’ | ‘Солнечная полянка’ |
| ¼ МС (контроль) | 2020 | 1330 |
| 0,3 г/л МК | 1360 | 1610 |
| 1,0 г/л МК | 2890 | 2170 |
| 3,0 г/л МК | 3500 | 3620 |
| Опудривание МК | 3200 | 2540 |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Дефицит влаги – одна из проблем, которая возникает при адаптации растений, полученных *in vitro*, к условиям *ex vitro* [20–22]. Это может привести к гибели растений из-за водного стресса, обезвоживания тканей и разрушения клеточных мембран. Нами показан ростостимулирующий эффект МК на основе хелатов кремния на ризогенез, развитие корневой и надземной системы растений земляники садовой. Способ опудривания базальной части микропобегов оказался существенно более эффективным, чем полив растворами МК, а также применение синтетического ауксина ИУК. Такой эффект, вероятно, связан не только с оптимальной локализацией действующего вещества в зоне инициирования ризогенеза, но и с постепенным высвобождением биодоступных форм Si, способствующим пролонгированному физиологическому действию. Обработка регенерантов земляники МК привела к существенному увеличению концентрации хлорофиллов в листьях, указывая на повышение фотосинтетической активности. Результаты нашего исследования согласуются с литературными данными, показывающими, что добавление кремнийсодержащих соединений поддерживает уровень хлорофилла у растений в условиях дефицита влаги [23–27]. S.A. Asmar с соавторами предположили, что поглощение Si регенерантами и его накопление в листьях показывает, что этот элемент может быть непосредственно связан с фотосинтетическими тканями и, следовательно, быть полезен для многих физиологических процессов растений и адаптации к условиям *ex vitro* [28]. Увеличение содержания хлорофиллов *a* и *b* под действием МК в нашем эксперименте на фоне увеличения содержания Si в наземной части регенерантов может быть связано с большей плотностью устьиц, которые обеспечивают поглощение $CO_2$, положительно влияя на интенсивность фотосинтеза. Более высокая доля хлорофилла *b* повышает светособирающую способность листьев [29], а также увеличивает фотосинтетический потенциал листьев и способствует увеличению ростовых параметров корневой и надземной системы растений. Известно, что каротиноиды передают дополнительную энергию на хлорофиллы, выполняя светособирающую функцию, а также отводят избыточную энергию от хлорофиллов, выполняя светозащитную функцию. Увеличение содержания каротиноидов у регенерантов *F. ananassa* свидетельствует о повышенных защитных свойствах их пигментного комплекса и увеличении адаптационных способностей растений *ex vitro* под действием МК.

Важные изменения в период адаптации микрорастений земляники садовой связаны с отложением эпикутикулярных восков под действием МК. Результаты согласуются с представлениями о том, что Si способствует удержанию воды в листьях и снижению потерь влаги (через увеличение плотности воскового слоя), что облегчает переносимость водного и других стрессов. Добавление Si увеличивало отложение эпикутикулярного воска на поверхности листьев банана [28] и земляники [30]. Индуцированное Si отложение эпикутикулярного воска на листьях пшеницы увеличивало ее устойчивость в условиях засухи [31]. Поскольку мощный восковой налет защищает растения от перегрева, потери влаги, полученные нами сведения могут учитываться при адаптации микрорастений земляники садовой к условиям *ex vitro*.

У растений существует механизм, обеспечивающий перераспределение Si по растительным тканям [32]. Этот вывод подтверждают исследования J. F. Ma и N. Yamaji [33], в которых показано,

что перенос Si в растениях риса осуществляют специальные транспортные белки. В ДНК обнаружен и определен фрагмент, отвечающий за синтез этих белков. Предполагают, что и у других растений имеется аналогичный механизм, отвечающий за обеспечение растения кремнием и его транспорт [33]. При этом перенос Si идет в ткани, которые в большей степени подвержены стрессу [34]. Y. Zhu и H. Gong [35] показали, что большее накопление Si характерно для растений в условиях солевого стресса. Добавление Si в питательную среду при культивировании клеточной культуры *Picea abies* снижало токсические эффекты Al за счет уменьшения концентрации свободного Al в клеточной стенке [36]. В суспензионной культуре *O. sativa* Si накапливался в клеточной стенке в форме кремнийорганического соединения, которое связывало Cd, тем самым ингибируя его поглощение [37]. Кроме того, определено, что поглощение и транспорт Si зависят от экзогенного содержания Si, вида растений [38] и поглотительной способности растений [6]. Наше исследование подтверждает способность Si аккумулироваться в тканях регенерантов земляники садовой, а также показывает, что количество Si в тканях микрорастений коррелирует с концентрацией МК.

Таким образом, исследования по применению МК в условиях *ex vitro* свидетельствуют о том, что механизмы действия Si еще недостаточно изучены и представляют не только научный, но и практический интерес, поскольку могут значительно повысить адаптационные способности растений и способствовать разработке принципиально новых технологий размножения растений.

## ВЫВОДЫ

1. Применение механокомпозита путем опудривания базальной части микропобегов индуцировало ризогенез, обеспечивало достоверно значимое увеличение длины корней, их количества, сухой массы по сравнению с контролем у растений-регенерантов *F. ×ananassa* на этапе укоренения и адаптации *ex vitro* на уровне с экзогенным ауксином. Увеличение поглотительной поверхности корневой системы стимулировало рост надземной части растений, что выражалось в увеличении высоты розетки, количества и площади листьев, сухой массы микропобегов и сопровождалось структурными (увеличением количества устьиц, интенсивным накоплением эпикутикулярных восков) и физиологическими изменениями у регенерантов (увеличением содержания хлорофиллов *a*, *b*, *a* + *b*, каротиноидов), что способствовало увеличению их адаптационных способностей *ex vitro*.

2. Морфологические, физиологические и структурные изменения были сопряжены с аккумуляцией Si в наземной части регенерантов под действием механокомпозита.

3. Полученные результаты позволяют рекомендовать механокомпозит как ростостимулирующий препарат для использования на этапе укоренения и адаптации микрорастений *F. ×ananassa* к нестерильным условиям, исключая стадию укоренения регенерантов *in vitro*, что существенно удешевит и сократит технологический цикл при получении оздоровленного посадочного материала. Разработанная технология позволит значительно повысить эффективность производства посадочного материала земляники садовой.

**Благодарность.** Для проведения исследований использованы материалы биоресурсной научной коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА-А21-121011290025-2 и Института химии твердого тела и механохимии СО РАН № 121032500067-9.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Plants in vitro* propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches / A. Hasnain, S.A.H. Naqvi, S.I. Ayesha [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2022. – Vol. 13. – P. 1009395. – DOI: 10.3389/fpls.2022.1009395.
2. *Hazarika B.* Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants // Scientia Horticulturae. – 2006. – Vol. 108 (2). – P. 105–120. – DOI: 10.1016/J.SCIENTA.2006.01.038.
3. *Strategies* for successful acclimatization and hardening of in vitro regenerated plants: Challenges and innovations in micropropagation techniques / N. Sharma, N. Kumar, J. James [et al.] // Plant Science Today. – 2023. – Vol. 10 (sp2). – P. 90–97. – DOI: 10.14719/pst.2376.

4. *Ma J.F.* Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses // Soil Science and Plant Nutrition. – 2004. – Vol. 50. – P. 11–18. – DOI: 10.1080/00380768.2004.10408447.
5. *Currie H.A., Perry C.C.* Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies // Annals of Botany. – 2007. – Vol. 100 (7). – P. 1383–1389. – DOI: 10.1093/aob/mcm247.
6. *Prado R.dM., Verma K.K., Etesami H.* Editorial: New advances of silicon in the soil-plant system // Frontiers in Agronomy. – 2024. – Vol. 6. – P. 1535125. – DOI: 10.3389/fagro.2024.1535125.
7. *The role* of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach / A. Frew, L.A. Weston, O.L. Reynolds [et al.] // Annals of Botany. – 2018. – Vol. 121. – P. 1265–1273. – DOI: 10.1093/aob/mcy009.
8. *Epstein E.* Silicon: its manifold roles in plants // Annals of Applied Biology. – 2009. – Vol. 155(2). – P. 155–160. – DOI: 10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x.
9. *Sarkar M.M., Mathur P., Roy S.* Silicon and nano-silicon: new frontiers of biostimulants for plant growth and stress amelioration // Silicon and nano-silicon in environmental stress management and crop quality improvement. – Academic Press. – 2022. – P. 17–36. – DOI: 10.1016/B978-0-323-91225-9.00010-8.
10. *Перспективы* использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова, Г.В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – Т. 68, № 1. – С. 219–234. – DOI: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234.
11. *Tubana B.S., Babu T., Datnoff L.E.* A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives // Soil Science. – 2016. – Vol. 181 (9/10). – P. 393–411. – DOI: 10.1097/SS.0000000000000179.
12. *Lomovsky O.I., Lomovskiy I.O., Orlov D.V.* Mechanochemical solid acid/base reactions for obtaining biologically active preparations and extracting plant materials // Green Chemistry Letters and Reviews. – 2017. – Vol. 10 (4). – P. 171–185. – DOI: 10.1080/17518253.2017.1339832.
13. *Патент № 2438344 C1.* РФ. Кормовая мука из рисовой лузги и зеленого чая для сельскохозяйственных и непродуктивных животных и способ ее получения / Е.Г. Шаполова, О.И. Ломовский. № 2010137971/13; заявл. 13.09.2010; опубл. 10.01.2012. – 12 с.
14. *Scaling* of the mechano-chemical process of production of silicon chelates from plant raw materials / E.G. Trofimova, E.M. Podgorbunskikh, T.S. Skripkina [et al.] // Bulgarian Chemical Communications. – 2018. – Vol. 50. – P. 45–48.
15. *Murashige T., Skoog F.A.* Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. – 1962. – Vol. 15 (13). – P. 473–497.
16. *Полевой В.В., Максимов Г.Б.* Методы биохимического анализа растений. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 192 с.
17. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П.* Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 420 с.
18. *Определение* основных и примесных элементов в силикатных породах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой после сплавления с LiBo2 / И.В. Николаева, С.В. Палесский, О.С. Чирко [и др.] // Аналитика и контроль. –2012. – Т. 16, № 2. – С. 1–9.
19. *Применение* ИСП-МС для элементного анализа в различных областях научных исследований / И.В. Николаева, С.В. Палесский, Д.В. Семенова [и др.] // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: мат-лы X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2016. – С. 59.
20. *Pospisilova J.* Effect of air humidity on the development of functional stomatal apparatus // Biologia Plantarum. – 1996. – Vol. 38 (2). – P. 197–204.
21. *Acclimatization* of micropropagated plants to *ex vitro* conditions / J. Pospíšilová, I. Tichá, P. Kadleček [et al.] // Biologia Plantarum. – 1999. – Vol. 42 (4). – P. 481–497. – DOI: 10.1023/A:1002688208758.
22. *Красинская Т.А., Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С.* Адаптационный процесс растений-регенерантов, выращенных в культуре *in vitro*, в условиях *ex vitro* и способы его улучшения // Плодоводство. – 2010. – Т. 22, № 1 – С. 309–320.
23. *Application* of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor / T. Hattori, S. Inanaga, H. Araki [et al.] // Physiologia Plantarum. – 2005. – Vol. 123. – P. 459–466. – DOI: 10.1111/J.1399-3054.2005.00481.X.
24. *Li Q.F., Ma C.C., Shang Q.L.* Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress // Chinese Journal of Applied Ecology. – 2007. – Vol. 18 (3). – P. 531–536.
25. *Protective* action of silicon on relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit / A.K.S. Lobato, G.K. Coimbra, M.A.M. Neto [et al.] // Research Journal of Biological Sciences. – 2009. – Vol. 4. – P. 617–623.
26. *Al-Mayahi A.M.W.* Effect of silicon (Si) application on *Phoenix dactylifera* L. growth under drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) *in vitro* // American Journal of Plant Sciences. – 2016. – Vol. 7 (13). – P. 1711–1728. – DOI: 10.4236/ajps.2016.713161.
27. *Silicon-mediated* priming induces acclimation to mild water-deficit stress by altering physio-biochemical attributes in wheat plants / A. Hameed, T. Farooq, A. Hameed [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2021. – Vol. 12. – P. 625541. – DOI: 10.3389/fpls.2021.625541.

28. *Morphophysiological* characteristics of acclimatized ‘Grande Naine’ banana plants in response to *in vitro* use of silicon / S.A. Asmar, M. Pasqual, A.G. de Araujo [et al.] // Semina: Ciências Agrárias. – 2013. – Vol. 34. – P. 73–81.
29. *Morpho-physiological* changes in *Billbergia zebrina* due to the use of silicates in vitro / A.D. Martins, J.P.R. Martins, L.A. Batista [et al.] // Anais da Academia Brasileira de Ciências. – 2018. – Vol. 90 (4). – P. 3449–3462. – DOI: 10.1590/0001-3765201820170518.
30. *Anatomical* characteristics of the strawberry seedlings micropropagated using different sources of silicon / F.T. Braga, C.F. Nunes, A.C. Favero [et al.] // Pesquisa Agropecuária Brasileira. – 2009. – Vol. 44. – P. 128–132.
31. *Improvement* of wheat (*Triticum aestivum*) drought tolerance by seed priming with silicon / M. Ahmed, U. Qadeer, Z.I. Ahmed [et al.] // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2016. – Vol. 62. – P. 299–315. – DOI: 10.1080/03650340.2015.1048235.
32. *Genome* wide association studies and candidate gene mining for understanding the genetic basis of straw silica content in a set of *Oryza nivara* (Sharma et Shastry) accessions / R.S.R. Gowda, S. Sharma, R.S. Gill [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 14. – P. 1174266. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1174266.
33. *Ma J.F., Yamaji N.* Silicon uptake and accumulation in higher plants // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11 (8). – P. 392–397. – DOI: 10.1016/j.tplants.2006.06.007.
34. *Hu J., Li Y., Jeong B.R.* Putative silicon transporters and effect of temperature stresses and silicon supplementation on their expressions and tissue silicon content in *Poinsettia* // Plants. – 2020. – Vol. 9 (5). – P. 569. – DOI: 10.3390/plants9050569.
35. *Zhu Y., Gong H.* Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants // Agronomy for Sustainable Development. – 2014. – Vol. 34. – P. 455–472. – DOI: 10.1007/s13593-013-0194-1.
36. *Prabagar S., Hodson M.J., Evans D.E.* Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // Environmental and Experimental Botany. – 2011. – Vol. 70. – P. 266–276. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.001.
37. *Mahbod S., Mohamed M.H., Parisa A.* Application of silicon in plant tissue culture // In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. – 2016. – Vol. 52. – P. 226–232. – DOI: 10.1007/s11627-016-9757-6.
38. *Importance* of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants / M. Sahebi, M.M. Hanafi, A.S.N. Akmar [et al.] // BioMed Research International. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1–16. – DOI: 10.1155/2015/396010.

## REFERENCES

1. Hasnain A., Naqvi S.A.H., Ayesha S.I. [et al.], Plants *in vitro* propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches, *Frontiers in Plant Science*, 2022, Vol. 13, pp. 1009395, DOI: 10.3389/fpls.2022.1009395.
2. Hazarika B., Morpho-physiological disorders in in vitro culture of plants, *Scientia Horticulturae*, 2006, Vol. 108, No. 2, pp. 105–120, DOI: 10.1016/J.SCIENTA.2006.01.038.
3. Sharma N., Kumar N., James J. [et al.], Strategies for successful acclimatization and hardening of in vitro regenerated plants: Challenges and innovations in micropropagation techniques, *Plant Science Today*, 2023, Vol. 10, No. (sp2), pp. 90–97, DOI: 10.14719/pst.2376.
4. Ma J.F., Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses, *Soil Science and Plant Nutrition*, 2004, Vol. 50, pp. 11–18, DOI: 10.1080/00380768.2004.10408447.
5. Currie H.A., Perry C.C., Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies, *Annals of Botany*, 2007, Vol. 100, No. 7, pp. 1383–1389, DOI: 10.1093/aob/mcm247.
6. Liang Y., Sun W., Zhu Y.-G. [et al.], Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review, *Environmental Pollution*, 2007, Vol. 147, No. 2, pp. 422–428, DOI: 10.1016/j.envpol.2006.06.008.
7. Frew A., Weston L.A., Reynolds O.L. [et al.], The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach, *Annals of Botany*, 2018, Vol. 121, pp. 1265–1273, DOI: 10.1093/aob/mcy009.
8. Epstein E., Silicon: its manifold roles in plants, *Annals of Applied Biology*, 2009, Vol. 155, No. 2, pp. 155–160, DOI: 10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x.
9. Sarkar M.M., Mathur P., Roy S., Silicon and nano-silicon: new frontiers of biostimulants for plant growth and stress amelioration, *Silicon and nano-silicon in environmental stress management and crop quality improvement, Academic Press*, 2022, pp. 17–36, DOI: 10.1016/B978-0-323-91225-9.00010-8.
10. Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A., Pirogovskaja G.V. [et al.], *Pochvovedenie i agrohimija*, 2022, Vol. 68, No. 1, pp. 219–234, DOI: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234. (In Russ.)
11. Tubana B.S., Babu T., Datnoff L.E., A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives, *Soil Science*, 2016, Vol. 181, No. 9/10, pp. 393–411, DOI: 10.1097/SS.0000000000000179.
12. Lomovsky O.I., Lomovskiy I.O., Orlov D.V., Mechanochemical solid acid/base reactions for obtaining biologically active preparations and extracting plant materials, *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2017, Vol. 10, No. 4, pp. 171–185, DOI: 10.1080/17518253.2017.1339832.

13. *Patent № 2438344 C1 RF,* Kormovaja muka iz risovoj luzgi i zelenogo chaja dlja sel'skohozjajstvennyh i neproduktivnyh zhivotnyh i sposob ee poluchenija, Shapolova E.G., Lomovskij O.I., No. 2010137971/13; zajavl. 13.09.2010; opubl. 10.01.2012, 12 p. (In Russ.)
14. Trofimova E.G., Podgorbunskikh E.M., Skripkina T.S. [et al.], Scaling of the mechano-chemical process of production of silicon chelates from plant raw materials, *Bulgarian Chemical Communications*, 2018, Vol. 50, pp. 45–48.
15. Murashige T., Skoog F.A., Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures, *Physiologia Plantarum*, 1962, Vol. 15, No. 13, pp. 473–497.
16. Polevoj V.V., Maksimov G.B., *Metody biohimicheskogo analiza rastenij* (Methods of biochemical analysis of plants), Leningrad: Izd-vo LGU, 1978, 192 p. (In Russ.)
17. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Jarosh N.P., *Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij* (Methods of biochemical research of plants), Leningrad: Agropromizdat, 1987, 420 p. (In Russ.)
18. Nikolaeva I.V., Palesskij S.V., Chirko O.S. [et al.], *Analitika i kontrol'*, 2012, Vol. 16, No. 2, pp. 1–9. (In Russ.)
19. Nikolaeva I.V., Palesskij S.V., Semenova D.V. [et al.], *Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka* (Analytics of Siberia and the Far East), Abstract of the Conference Title, Barnaul: Izd-vo AltGU, 2016, p. 59. (In Russ.)
20. Pospisilova J., Effect of air humidity on the development of functional stomatal apparatus, *Biologia Plantarum*, 1996, Vol. 38, No. 2, pp. 197–204.
21. Pospíšilová J., Tichá I., Kadleček P. [et al.], Acclimatization of micropropagated plants to ex vitro conditions, *Biologia Plantarum*, 1999, Vol. 42, No. 4, pp. 481–497, DOI: 10.1023/A:1002688208758.
22. Krasinskaja T.A., Kuharchik N.V., Kastrickaja M.S., *Plodovodstvo*, 2010, Vol. 22, No. 1, pp. 309–320. (In Russ.)
23. Hattori T., Inanaga S., Araki H. [et al.], Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor, *Physiologia Plantarum*, 2005, Vol. 123, pp. 459–466, DOI: 10.1111/J.1399-3054.2005.00481.X.
24. Li Q.F., Ma C.C., Shang Q.L., Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, Vol. 18, No. 3, pp. 531–536.
25. Lobato A.K.S., Coimbra G.K., Neto M.A.M. [et al.], Protective action of silicon on relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit, *Research Journal of Biological Sciences*, 2009, Vol. 4, pp. 617–623.
26. Al-Mayahi A.M.W., Effect of silicon (Si) application on *Phoenix dactylifera* L. growth under drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) *in vitro*, *American Journal of Plant Sciences*, 2016, Vol. 7, No. 13, pp. 1711–1728, DOI: 10.4236/ajps.2016.713161.
27. Hameed A., Farooq T., Hameed A. [et al.], Silicon-mediated priming induces acclimation to mild water-deficit stress by altering physio-biochemical attributes in wheat plants, *Frontiers in Plant Science*, 2021, Vol. 12, pp. 625541, DOI: 10.3389/fpls.2021.625541.
28. Asmar S.A., Pasqual M., de Araujo A.G. [et al.], Morphophysiological characteristics of acclimatized 'Grande Naine' banana plants in response to *in vitro* use of silicon, *S emina: Ciências Agrárias*, 2013, Vol. 34, pp. 73–81.
29. Martins A.D., Martins J.P.R., Batista L.A. [et al.] Morpho-physiological changes in *Billbergia zebrina* due to the use of silicates *in vitro*, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2018, Vol. 90, No. 4, pp. 3449–3462, DOI: 10.1590/0001-3765201820170518.
30. Braga F.T., Nunes C.F., Favero A.C. [et al.], Anatomical characteristics of the strawberry seedlings micropropagated using different sources of silicon, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2009, Vol. 44, pp. 128–132.
31. Ahmed M., Qadeer U., Ahmed Z.I. [et al.], Improvement of wheat (*Triticum aestivum*) drought tolerance by seed priming with silicon, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2016, Vol. 62, pp. 299–315, DOI: 10.1080/03650340.2015.1048235.
32. Gowda R.S.R., Sharma S., Gill R.S. [et al.], Genome wide association studies and candidate gene mining for understanding the genetic basis of straw silica content in a set of *Oryza nivara* (Sharma et Shastry) accessions, *Frontiers in Plant Science*, 2023, Vol. 14, pp. 1174266, DOI: 10.3389/fpls.2023.1174266.
33. Ma J.F., Yamaji N., Silicon uptake and accumulation in higher plants, *Trends in Plant Science*, 2006, Vol. 11. No. 8, pp. 392–397, DOI: 10.1016/j.tplants.2006.06.007.
34. Hu J., Li Y., Jeong B.R., Putative silicon transporters and effect of temperature stresses and silicon supplementation on their expressions and tissue silicon content in *Poinsettia*, *Plants*, 2020, Vol. 9, No 5, pp. 569, DOI: 10.3390/plants9050569.
35. Zhu Y., Gong H., Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants, *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, Vol. 34, pp. 455–472, DOI: 10.1007/s13593-013-0194-1.
36. Prabagar S., Hodson M.J., Evans D.E., Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), *Environmental and Experimental Botany*, 2011, Vol. 70, pp. 266–276, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.001.
37. Mahbod S., Mohamed M. H., Parisa A., Application of silicon in plant tissue culture, *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, 2016, Vol. 52, pp. 226–232, DOI: 10.1007/s11627-016-9757-6.
38. Sahebi M., Hanafi M.M., Akmar A.S.N. [et al.], Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants, *BioMed Research International*, 2015, Vol. 2015, pp. 1–16, DOI: 10.1155/2015/396010.

**Информация об авторах:**
*Е.В. Амброс,* кандидат биологических наук, зав. лабораторией
*Е.Г. Трофимова,* кандидат химических наук, научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*E.V. Ambros,* PhD in Biology, Head of Laboratory
*E.G. Trofimova,* PhD in Chemistry, Research Associate

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-31-38
УДК 633.31/631.522.2

# ВЛИЯНИЕ СРОКА СКАШИВАНИЯ ОТАВЫ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ НА ЕЕ КОРМОВУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ

**Д.Ю. Бакшаев**

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск Новосибирской области, Россия*

**E-mail:** bakshaevd@mail.ru

**Для цитирования:** *Бакшаев Д.Ю.* Влияние срока скашивания отавы люцерны изменчивой на ее кормовую продуктивность // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 31–38. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-31-38.

**Ключевые слова:** люцерна изменчивая, сроки уборки, отава, урожайность, питательность.

**Реферат.** *Исследования проведены на стационаре СибНИИ кормов СФНЦА РАН, расположенном в северной лесостепи Приобья Новосибирской области. Почва опытного участка зональная – чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый. Цель исследований – определить сроки проведения второго укоса люцерны и определить периоды, в течение которых отава могла быть использована в сырьевом конвейере. Укосная спелость первого укоса люцерны изменчивой в годы пользования наступала через 45–57 дней от начала отрастания (V = 11 %). Поздние сроки скашивания отавы люцерны удлиняли ее вегетационный период с 56 до 95 дней. Выявлена сильная связь между длиной межукосного периода со среднесуточной температурой воздуха (r = –0,97…–0,90) а также суммы температур и выпавших осадков (r = 0,73–0,99). Отмечено, что у люцерны изменчивой содержание сахаров в корнях снижается от ранних сроков уборки к поздним на 15 % с 13,6 до 11,6 (V = 21 %), что увеличивает риск ее гибели в зимний период. Поздние сроки скашивания люцерны изменчивой снижали урожайность сухой массы в сумме за два укоса на 13–21 %. Снижение урожайности первого укоса на следующий год составило 0,35–0,76 т/га (7–15 %), второго – на 0,42–1,12 т/га (14–36 %). При скашивании отавы в ранние сроки содержание кормовых единиц составило 0,74–0,77, ОЭ 10,2–10,2 МДж, переваримого протеина 161–171 г/к. ед. При поздних сроках уборки содержание кормовых единиц в 1 кг корма снижается на 5 % в первом и 10 % во втором укосе, выход обменной энергии соответственно на 4 и 7 %, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином на 6 и 16 %.*

# THE EFFECT OF THE MOWING TIME OF ALFALFA ON ITS FEED PRODUCTIVITY

**D.Y. Bakshaev**

*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia*

**E-mail:** bakshaevd@mail.ru

**Keywords***:* variable alfalfa, harvest time, thaw, yield, nutritional value

**Summary***: The research was conducted at the SibNII Kormov hospital of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, located in the northern forest-steppe of the Ob region of the Novosibirsk region. The soil of the experimental site is zonal – leached chernozem, medium-sized, medium-humus, medium-loamy. The purpose of the research is to determine the timing of the second alfalfa mowing and to determine the periods during which the otava could be used in the raw material conveyor. The mowing ripeness of the first mowing of alfalfa during the years of use occurred 45–57 days after the start of regrowth (V = 11 %). Late mowing dates from alfalfa trees extended its growing season from 56 to 95 days. A strong relationship was found between the length of the interaxial period and the average daily air temperature (r = -0.97...-0.90), as well as the sum of temperatures and precipitation (r = 0.73–0.99). It was noted that in alfalfa, the sugar content in the roots decreases from early to late harvesting by 15% from 13.6 to 11.6 (V = 21 %), which increases the risk of its death in winter. Late mowing of alfalfa reduced the yield of dry weight by 13–21 % in total for two mowing. The decrease in the yield of the first mowing for the next year was 0.35–0.76 t/ha (7–15 %), the second – by 0.42–1.12 t/ha (14–36 %). When mowing otava in the early stages, the content of feed units was 0.74–0.77, OE 10.2–10.2 MJ, and digestible protein 161–171 g/k units. At late harvest times, the content of feed units per 1 kg of feed decreases by 5 % in the first and 10 % in the second mowing, the yield of metabolic energy by 4 and 7 %, respectively, and the provision of digestible protein to the feed unit by 6 and 16 %.*

Существенное влияние на качество получаемых кормов из многолетних трав оказывают сроки их скашивания. При уборке в оптимальные сроки можно получить полноценные второй и третий укосы. При двухукосном использовании на долю первого укоса приходится 60–70 % от полученной массы, поэтому бобовые травы лучше убирать в начале и во время массового цветения, злаковые в период колошения – начала цветения [1, 2].

В научной литературе вопрос срока уборки основного укоса многолетних трав достаточно хорошо отражен. Все рекомендации сводятся к следующему: слишком ранние сроки уборки приводят к недобору зеленой массы, запаздывание с ними приводит к ухудшению качества продукции [2–8]. С точки зрения физиологии развития люцерны и получения максимального урожая целесообразно проводить два укоса без запаздывания с уборкой. При этом растения успевают накопить в корнях достаточное количество сахаров для успешной зимовки [9, 10].

Сроки проведения первого укоса самым существенным образом влияют на урожайность отавы и на последующую продуктивность трав и тесно связаны с продолжительностью вегетационного периода. Различные сроки скашивания, частота укосов и уменьшение межукосного периода могут снижать урожайность многолетних трав в следующий год. Как правило, это актуально для трехукосного использования.

При этом на последующие сроки укосов обращают внимание исходя из наступления у растений укосной спелости (максимальной питательности) или набора ими укосной массы [11–13], а не по готовности растений к зимовке и успешному ее прохождению. Так, А.А. Лопатнюк [14] рекомендует скашивать отаву люцерны с 1 по 10 августа, В.Е. Михалев [15] и Л.П. Евстратова [16] только до 25 августа.

Таким образом, анализ литературы показал, что требует уточнения вопрос влияние поздних сроков уборки многолетних трав, в частности люцерны, на их кормовую продуктивность в первом и последующих укосах, перезимовку и продуктивное долголетие.

Цель исследований – изучить сроки проведения второго укоса люцерны и определить периоды, в течение которых отава может быть эффективно использована в сырьевых конвейерах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Условия проведения исследований*

Исследования проведены на стационаре СибНИИ кормов СФНЦА РАН, расположенном в северной лесостепи Приобья Новосибирской области. Почва опытного участка зональная – чернозём выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый, содержание гумуса в пахотном слое 6,6 %. Почва в слое 0–20 см характеризуется высокой обеспеченностью подвижным фосфором – 22 мг/100 г и обменным калием – 21,4 мг/100 г по Чирикову. Реакция почвенного раствора слабощелочная – 7,4. Сумма поглощенных оснований 32,6 ммоль(экв)/100 г, плотность почвы в слоях 0–20 и 20–40 см равна соответственно 1,16 и 1,22 г/см$^3$, влажность устойчивого завядания 10,2 и 8,0 мм. Грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены.

По климатическим ресурсам это умеренно теплый, недостаточно увлажненный агроклиматический район. Среднегодовое количество осадков составляет 350–450 мм, из них 254 мм в теплый период года (апрель – сентябрь), за июнь – август выпадает 113–130 мм. Гидротермический коэффициент (по Селянинову) составляет 1,0–1,2. Самый холодный месяц – январь, со среднесуточной температурой – 19,4 $^0$С, самый жаркий – июль 18,4 $^0$С. Сумма положительных температур выше +10 $^0$С в среднем составляет 1880 $^0$С, с отклонениями по годам от 1500 до 2250 $^0$С. Весенние заморозки в воздухе возможны до 20 мая, на почве до 17 июня. Начало осенних заморозков приходится на конец августа.

Вегетационный период 2000 г. был благоприятным для многолетних трав (ГТК = 1,7). Среднесуточная температура воздуха в июне и августе превышала среднемноголетнее значение на 0,5…0,6 °С. Осадков в мае и сентябре выпало в пределах нормы (90–97 %), в июне – 144 %, июле – 115 %, в августе – 215 % нормы. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы не снижались 129 мм.

Характерной особенностью 2001 г. были благоприятные условия увлажнения и теплообеспеченности для роста и развития растений (ГТК = 1,4). В период с мая по сентябрь выпало 297,1 мм осадков (117 % от нормы). Среднесуточная температура мая была на 5,8 °С выше среднемноголетней, количество осадков составило 45 % от нормы. Отмечены заморозки в первой декаде июня. Среднесуточная температура июня была на 1 °С выше среднемноголетней, осадков выпало 87,5 мм, что составило 150 % от нормы. Наибольшее количество осадков выпало в июле – 115,6, что составило 160 % от нормы. Такое количество осадков и пониженная среднесуточная температура (меньше нормы на 2,1 °С) замедлили рост и развитие растений.

2002 г. был резко контрастным по погодным условиям (ГТК = 1,2). Вегетационный период характеризовался полуторной нормой осадков и средними показателями по теплу в летние месяцы. В период с мая по сентябрь выпало 286 мм осадков, но распределение их было неравномерным. Если в мае, июле и сентябре выпало в пределах нормы, то в июне 202 %, августе – 40 % нормы. Среднесуточная температура мая была на 3,2 °С выше среднемноголетней, сентября – на 2,5 °С. На поверхности почвы отмечались заморозки интенсивностью –1 °С вплоть до 8 июня. Август и сентябрь характеризовались повышенной облачностью и низкими ночными температурами.

*Схема опыта*

Скашивание отавы 25 августа.

Скашивание отавы 5 сентября.

Скашивание отавы 15 сентября.

Скашивание отавы 25 сентября.

Повторность опытов 4-кратная. Расположение вариантов систематическое. Посевная и учётная площадь делянок 36 м$^2$. Посевы производились во второй декаде июля.

В опыте используется люцерна изменчивая Вега 87.

Перед посевом проведено ранневесеннее закрытие влаги в два следа зубовыми боронами БЗСС-1,0 по диагонали к основной обработке. Предпосевная культивация КПС-4,2 с боронованием и прикатыванием кольчатыми катками ЗККШ-6 проводилась непосредственно перед посевом для снижения потери влаги. Посев опыта проводили сеялкой СН-16. Глубина заделки семян 2–3 см. Норма высева люцерны 12 кг/га, или 6 млн всхожих семян на 1 га. Ширина междурядий – 15 см.

Основной метод исследований – полевые опыты и лабораторные анализы. Методика проведения исследований общепринятая.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований по изучению влияния сроков скашивания во втором укосе (отава) на урожайность и продуктивность многолетних трав была выбрана люцерна изменчивая, как наиболее распространенная в зоне возделывания культура.

Проведение первого укоса проходило при накоплении люцерной изменчивой суммы активных температур 771–872 °С, суммы выпавших осадков 82–152 мм (ГТК вегетационного периода 0,5–2,4), что соответствовало фазе начала цветения. Укосная спелость у люцерны изменчивой в годы пользования наступала через 45–57 дней от начала отрастания ($V$ = 11 %). Поздние сроки скашивания отавы люцерны удлиняли ее вегетационный период с 56 до 95 дней, во время укоса люцерны растения уже окончили вегетацию и имели признаки усыхания.

Корреляционная зависимость длины межукосного периода от агроклиматических условий года выявила сильную отрицательную связь у люцерны со среднесуточной температурой воздуха весной и поздней осенью ($r$ = –0,97…–0,90), влияние суммы температур и выпавших осадков имело высокую положительную связь во все сроки уборки ($r$ = 0,73–0,99) (табл. 1).

*Таблица 1*

**Корреляционная зависимость длины межукосного периода от агроклиматических факторов года**
**Correlation dependence of the length of the intercostal period on the agro-climatic factors of the year**

| Фактор | Период | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Отрастание–начало цветения | Основной укос–отава (25.08) | Основной укос–отава (05.09) | Основной укос–отава (15.09) | Основной укос–отава (25.09) |
| Среднесуточная температура | –0,97 | 0,06 | 0,38 | 0,94 | –0,90 |
| Сумма температур | 0,99 | 0,91 | 0,97 | 0,99 | 0,95 |
| Сумма осадков | 0,82 | 0,80 | 0,85 | 0,80 | 0,73 |
| ГТК периода | 0,67 | 0,78 | 0,80 | 0,68 | 0,70 |

Для определения готовности растений люцерны изменчивой к зимовке по окончании вегетационного периода при переходе среднесуточной температуры через +5 °С были отобраны образцы корней для определения содержания водорастворимых сахаров. Установлено, что у люцерны изменчивой содержание сахаров в корнях снижается от ранних сроков уборки к поздним на 15 %, с 13,6 до 11,6 ($V$ = 21 %), что увеличивает риск ее гибели в зимний период (табл. 2).

*Таблица 2*

**Влияние срока скашивания отавы люцерны изменчивой на содержание водорастворимых сахаров в корнях перед уходом в зиму, %**
**The effect of the mowing time of alfalfa on the content of water-soluble sugars in the roots before leaving for the winter, %**

| Дата | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | Среднее |
|---|---|---|---|---|
| 25.08 | 17,6 | 10,9 | 12,4 | 13,6 |
| 05.09 | 16,0 | 9,8 | 11,9 | 12,6 |
| 15.09 | 14,1 | 9,7 | 11,9 | 11,9 |
| 25.09 | 14,0 | 9,5 | 11,3 | 11,6 |

Наблюдения за ростом и развитием многолетних бобовых трав в условиях лесостепи Западной Сибири выявили значительные изменения показателей роста и развития растений в зависимости от срока скашивания во втором укосе. Высота растений люцерны изменчивой варьировала в первом и втором укосах незначительно ($V = 4$ %) и составила в среднем 87–94 см (табл. 3). Поздние сроки скашивания отавы снижали массу побега люцерны на 22 %, густоту стеблестоя на 47 %.

*Таблица 3*

**Влияние срока скашивания отавы на биометрические показатели растений люцерны изменчивой в первом и втором укосах (данные за 2000–2002 гг.)**
**The effect of the mowing time of the otava on the biometric parameters of alfalfa plants in the first and second mowing (data for 2000-2002)**

| Дата | Высота, см | | | Масса побега, г | | | Кол-во побегов, шт./м$^2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. |
| *Основной укос* | | | | | | | | | |
| 25.08 | – | 84 | 96 | – | 6,8 | 6,3 | – | 322 | 317 |
| 05.09 | – | 84 | 93 | – | 7,1 | 7,8 | – | 301 | 237 |
| 15.09 | – | 83 | 92 | – | 8,2 | 6,9 | – | 258 | 315 |
| 25.09 | – | 89 | 98 | – | 7,2 | 7,1 | – | 302 | 302 |
| *Отава* | | | | | | | | | |
| 25.08 | 93 | 85 | 72 | 6,2 | 6,1 | 5,8 | 209 | 264 | 285 |
| 05.09 | 93 | 92 | 78 | 6,1 | 5,4 | 5,0 | 251 | 203 | 244 |
| 15.09 | 82 | 93 | 82 | 5,0 | 5,1 | 4,8 | 158 | 142 | 156 |
| 25.09 | 99 | 94 | 85 | 4,6 | 4,9 | 4,7 | 174 | 91 | 140 |

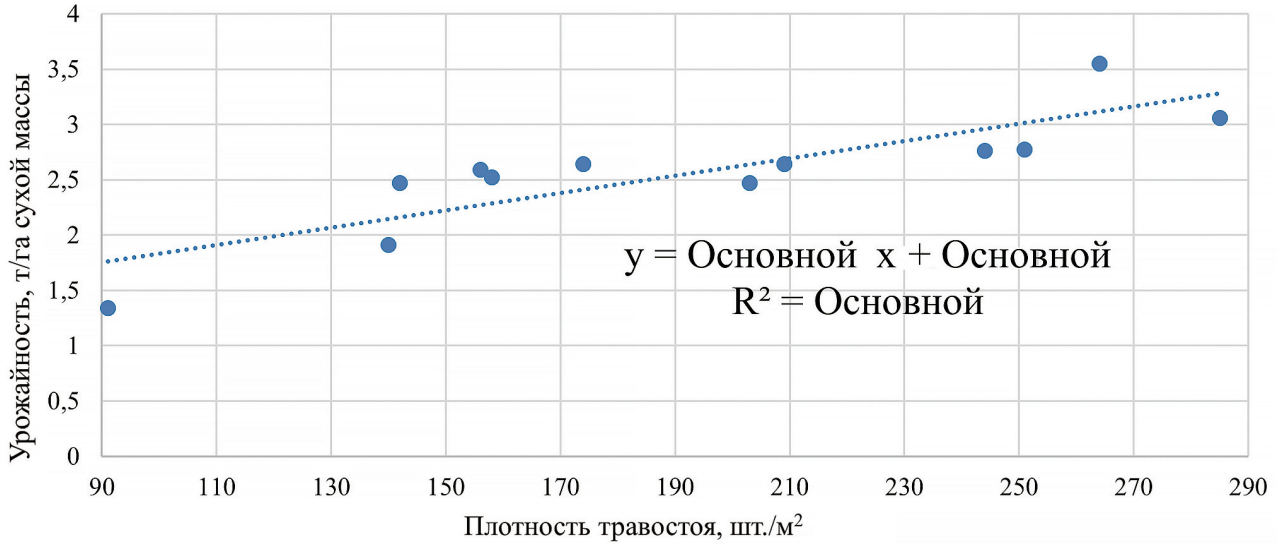
Поздние сроки скашивания люцерны изменчивой снижали урожайность сухой массы на 13–21 % за счет снижения урожайности как первого укоса на следующий год на 0,35–0,76 т/га (7–15 %), так и сбора массы второго на 0,42–1,12 т/га (14–36 %) (табл. 4).

*Таблица 4*

**Влияние срока скашивая отавы на урожайность сухой массы люцерны изменчивой, т/га**
**The effect of the mowing time of otava on the yield of the dry mass of alfalfa, t/ha**

| Дата | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | Среднее | ± к контролю | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | т/га | % |
| 25.08 | 2,64* | 8,97 | 8,04 | 6,55 | 0 | 0 |
| 05.09 | 2,76* | 7,08 | 7,02 | 5,62 | –0,93 | –14 |
| 15.09 | 2,51* | 7,05 | 7,5 | 5,69 | –0,86 | –13 |
| 25.09 | 2,64* | 6,3 | 6,67 | 5,20 | –1,35 | –21 |
| $НСР_{05}$ | 0,16 | 0,85 | 0,55 | 1,03 | | |

Установлена высокая связь урожайности с высотой растений люцерны ($r = –0,75$) и плотностью травостоя ($r = 0,89$) во втором укосе, где при увеличении плотности на каждые сто растений увеличивает урожайность на 0,8 т/га ($R^2 = 72$ %) (рисунок).




Проведенный биохимический анализ сухой массы показал, что питательность трав снижается по мере старения растений. Так, снижение содержания кормовых единиц в 1 кг корма составило 5 % в первом и 10 % во втором укосе, содержание обменной энергии соответственно 4 и 7 %, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином на 6 и 16 % (табл. 5).

*Таблица 5*

**Питательность сухой массы люцерны изменчивой в зависимости от срока скашивания отавы (данные за 2000–2001 гг.)**
**The nutritional value of the dry mass of alfalfa varies depending on the mowing time from the soil (data for 2000–2001)**

| Дата | На 1 кг сухого вещества | | Переваримый протеин, г/к.ед. |
|---|---|---|---|
| | кормовых единиц | ОЭ, МДж | |
| *Основной укос* | | | |
| 25.08 | 0,77 | 10,6 | 171 |
| 05.09 | 0,77 | 10,7 | 174 |
| 15.09 | 0,73 | 10,2 | 161 |
| 25.09 | 0,73 | 10,2 | 160 |
| *Отава* | | | |
| 25.08 | 0,74 | 10,2 | 161 |
| 05.09 | 0,73 | 10,1 | 159 |
| 15.09 | 0,72 | 10,0 | 156 |
| 25.09 | 0,67 | 9,5 | 136 |

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о предпочтительной уборке отавы люцерны изменчивой в период до 25 августа. Урожайность сухой массы при этом в сумме за два укоса имеет максимальное значение – 6,55 т/га, содержание кормовых единиц 0,74–0,77 ед., ОЭ 10,2–10,2 МДж, переваримого протеина 161–171 г/к.ед.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рядом авторов получены данные, что длина межукосного периода различается в зависимости от срока скашивания. Кормовая масса люцерны изменчивой первого укоса формируется за счёт запасов почвенной влаги осенне-зимнего периода, второго укоса – за счет летних осадков. Эксперименты показали, что поздние сроки скашивания отавы люцерны снижали урожайность на 13–21 %. Полученные нами результаты согласуются с ранее опубликованными работами отечественных и зарубежных ученых, отмечающих, что скашивание отавы люцерны в более ранние, поздние и переменные сроки снижает ее продуктивность [16–18]. При двухукосном режиме скашивания доля люцерны в травосмеси возрастала с 4–29 до 34–42 %, а при трехукосном – с 4–28 до 49–60 % [19, 20].

М.В. Серегин и С.А. Сысоев отмечают, что общее развитие растений улучшается при благоприятных условиях вегетации, а не в более поздних сроках и относительно неблагоприятных условиях (такие агрометеорологические условия приводят к снижению качества сенажной массы) [21].

Питательность трав независимо от состава фитоценоза трехкратном использовании имела преимущество (на 19–62 %) только по сырому протеину [19].

Комплексное изучение показателей продуктивности и биоэнергетической оценки растений способствует разработке научно обоснованных рекомендаций по повышению эффективности возделывания люцерны изменчивой на корм. Нами показано, что урожайность кормовой массы трав во многом зависит от фазы развития люцерны и срока скашивания во втором укосе.

## ВЫВОДЫ

1. Укосная спелость у люцерны изменчивой в годы пользования наступала через 45–57 дней от начала отрастания ($V$ = 11 %). Поздние сроки скашивания отавы люцерны удлиняли ее вегетационный период с 56 до 95 дней. Выявлена сильная связь между длиной межукосного периода со среднесуточной температурой воздуха весной и поздней осенью ($r$ = –0,97…–0,90), а также суммы температур и выпавших осадков ($r$ = 0,73–0,99).

2. Отмечено, что у люцерны изменчивой содержание сахаров в корнях снижается от ранних сроков уборки к поздним на 15 %, с 13,6 до 11,6 ($V$ = 21 %), что увеличивает риск ее гибели в зимний период.

3. Поздние сроки скашивания люцерны изменчивой снижали урожайность сухой массы в сумме за два укоса на 13–21 %. Снижение урожайности первого укоса на следующий год составило – 0,35–0,76 т/га (7–15 %), второго – на 0,42–1,12 т/га (14–36 %).

4. При скашивании отавы люцерны изменчивой в ранние сроки содержание кормовых единиц составило 0,74–0,77, ОЭ 10,2–10,2 МДж, переваримого протеина 161–171 г/к.ед. При поздних сроках уборки содержание кормовых единиц в 1 кг корма снижается на 5 % в первом и 10 % во втором укосе, выход обменной энергии соответственно на 4 и 7 %, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином на 6 и 16 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Нагибин А.Е., Тормозин М.А., Зырянцева А.А.* Травы в системе кормопроизводства Урала: монография. – Екатеринбург, 2018. – 784 с.
2. *Тимошкин О.А.* Эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 276–285. – DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285.
3. *Донских Н.А., Лозовой А.А.* Урожайность многолетних злаковых травостоев и качество сырья в зависимости от срока скашивания в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 58. – С. 14–19. – DOI: 10.24411/2078-1318-2020-11014.
4. *Гребенников В.Г., Шипилов И.А., Хонина О.В.* Приемы ускоренного восстановления продуктивности деградированных кормовых угодий зоны неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 5 (208). – С. 22–30. – DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-22-30.
5. *Нелюбина Ж.С., Касаткина Н.И., Фатыхов И.Ш.* Кормовая продуктивность люцерны изменчивой в агрофитоценозах при разных сроках уборки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3(101). – С. 48–54. – DOI: 10.37670/2073-0853-2023-101-3-48-54.
6. *Булеков Т.А., Бекеев Ж.Г., Булекова А.А.* Сенокосно-пастбищный конвейер для сухостепной зоны Западного Казахстана // Наука и образование. – 2023. – № 2–1(71). – С. 115–123. – DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-115-123.

7. *Костицын Р.Д., Хонина О.В.* Создание и рациональное использование разнопоспевающих травостоев в зоне неустойчивого увлажнения // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 9. – С. 24–30. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_24.
8. *Bulekov T.A., Bekeev Zh.G.* Construction of a scheme for the use of fodder crops for the dry steppe zone of Kazakhstan // Science and Education. – 2023. – No. 3–2 (72). – P. 62–69. – DOI: 10.52578/2305-9397-2023-3-2-63-71.
9. *Lutke Entrup N., Oehmichen J.* Lehrbuch des Pflanzenbaus // Bd.1: Grundlagen Verlag Th. Mann. – Gelsenkirchen, 2000. – 798 p.
10. *Барашкова Н.В.* Особенности проведения осенних сроков скашивания луговых травостоев в условиях Среднетаежной подзоны Якутии // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 (159). – С. 93–98. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-93-98.
11. *Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С.* Влияние трехукосного использования на продуктивность, питательность и ботанический состав бобово-злаковых агрофитоценозов // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 6–20. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-6-20.
12. *Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С.* Возделывание бобово-злаковых травосмесей на основе фестулолиума в условиях Европейского Севера России // Молочнохозяйственный вестник. – 2015. – № 3 (19). – С. 66–73.
13. *Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С.* Выращивание фестулолиума в составе бобово-злаковых агрофитоценозов на осушенных землях Европейского Севера России // Мелиорация. – 2020. – № 4(94). – С. 49–53.
14. *Основные* направления и совершенствование методов конвейерного производства кормов на пашне и лугопастбищных угодьях / А.А. Лопатнюк, П.Ф. Тиво, Н.И. Соловцов, Л.А. Лопатнюк // Аграрная экономика. – 2021. – № 4 (311). – С. 78–96.
15. *Михалев В.Е., Маркова В.Е., Ушакова Е.Ю.* Принципы построения системы полевого кормопроизводства в Рязанской области // Орошаемое земледелие. – 2021. – № 2. – С. 49–53. – DOI: 10.35809/2618-8279-2021-2-6.
16. *Игнатьев С.А., Грязева Т.В., Игнатьева Н.Г.* Влияние сроков скашивания зеленой массы люцерны на продуктивность и ее кормовую ценность // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 55–59.
17. *Тимошкин О.А.* Эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 276–285. – DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285.
18. *Епифанова И.В., Тимошкин О.А.* Приемы возделывания люцерны изменчивой Дарья на кормовые цели в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 3. – С. 36–38.
19. *Влияние* режимов скашивания на продуктивность и питательную ценность многолетних травостоев / Л.П. Евстратова, Г.В. Евсеева, С.Н. Смирнов, А.И. Камова // Кормопроизводство. – 2019. – № 6. – С. 18–22.
20. *Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С.* Влияние трехукосного использования на продуктивность, питательность и ботанический состав бобово-злаковых агрофитоценозов // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 6–20. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-6-20.
21. *Серегин М.В., Сысоев С.А.* Влияние агрометеорологических условий на формирования качества сенажной массы многолетних трав // E-Scio. – 2021. – № 4 (55). – С. 120–124.

## REFERENCES

1. Nagibin A.E., Tormozin M.A., Zyryantseva A.A., *Travy v sisteme kormoproizvodstva Urala* (Grasses in the Urals forage production system), Ekaterinburg, 2018, 784 p.
2. Timoshkin O.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, T. 24, No. 2, pp. 276–285, DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285. (In Russ.)
3. Donskikh N.A., Lozovoy A.A., *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 58, pp. 14–19, DOI: 10.24411/2078-1318-2020-11014. (In Russ.)
4. Grebennikov V.G., Shipilov I.A., Khonina O.V., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2021, No. 5 (208), pp. 22–30, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-22-30. (In Russ.)
5. Nelyubina Zh.S., Kasatkina N.I., Fatykhov I.Sh., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 3 (101), pp. 48–54, DOI: 10.37670/2073-0853-2023-101-3-48-54. (In Russ.)
6. Bulekov T.A., Bekeev Zh.G., Bulekova A.A., *Nauka i obrazovanie*, 2023, No. 2–1 (71), pp. 115–123, DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-115-123. (In Russ.)
7. Kostitsyn R.D., Khonina O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, T. 37, No. 9, pp. 24–30, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_24. (In Russ.)
8. Bulekov T.A., Bekeev Zh.G., Construction of a scheme for the use of fodder crops for the dry steppe zone of Kazakhstan, *Science and Education*, 2023, No. 3–2 (72), pp. 62–69, DOI: 10.52578/2305-9397-2023-3-2-63-71.
9. Lutke Entrup N., Oehmichen J., Lehrbuch des Pflanzenbaus, *Bd.1: Grundlagen Verlag Th. Mann.*, Gelsenkirchen, 2000, 798 p.

10. Barashkova N.V., *Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 6 (159), pp. 93–98, DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-93-98. (In Russ.)
11. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 2020, No. 2, pp. 6–20, DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-6-20. (In Russ.)
12. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S., *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*, 2015, No. 3 (19), pp. 66–73. (In Russ.)
13. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S., *Melioratsiya*, 2020, No. 4 (94), pp. 49–53. (In Russ.)
14. Lopatnyuk A.A., Tivo P.F., Solovtsov N.I., Lopatnyuk L.A., *Agrarnaya ekonomika*, 2021, No. 4 (311), pp. 78–96. (In Russ.)
15. Mikhalev V.E., Markova V.E., Ushakova E.Yu., *Oroshaemoe zemledelie*, 2021, No. 2, pp. 49–53, DOI: 10.35809/2618-8279-2021-2-6. (In Russ.)
16. Ignat'ev S.A., Gryazeva T.V., Ignat'eva N.G., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2016, No. 5, pp. 55–59. (In Russ.)
17. Timoshkin O.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, T. 24, No. 2, pp. 276–285, DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285. (In Russ.)
18. Epifanova I.V., Timoshkin O.A., *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2018, No. 3, pp. 36–38. (In Russ.)
19. Evstratova L.P., Evseeva G.V., Smirnov S.N., Kamova A.I., *Kormoproizvodstvo*, 2019, No. 6, pp. 18–22. (In Russ.)
20. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 2020, No. 2, pp. 6–20, DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-6-20. (In Russ.)
21. Seregin M.V., Sysoev S.A., Vliyanie agrometeorologicheskikh usloviy na formirovaniya kachestva senazhnoy massy mnogoletnikh trav, *E-Scio*, 2021, No. 4 (55), pp. 120–124. (In Russ.)

**Информация об авторе:**
*Д.Ю. Бакшаев,* кандидат сельскохозяйственных наук

**Contribution of the author:**
*D.Y. Bakshaev,* Candidate of Agricultural Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-39-47
УДК 635.92.05

# ПРИМЕНЕНИЕ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* ПРИ РАЗМНОЖЕНИИ ОБЛЕПИХИ ОДРЕВЕСНЕВШИМИ ЧЕРЕНКАМИ

**А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, С.В. Неволин**
*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
**E-mail:** belyaev.an.ar@gmail.com

**Для цитирования:** *Беляев А.А., Шпатова Т.В., Неволин С.В.* Применение штаммов бактерий рода *Bacillus* при размножении облепихи одревесневшими черенками // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 39–47. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-39-47.

**Ключевые слова:** бактериальные штаммы, облепиха, вегетативное размножение, одревесневшие черенки, укоренение, ростостимулирующее действие, качество посадочного материала.

**Реферат**. *Исследования проведены в четырехлетних производственных экспериментах в питомнике сельскохозяйственного производственного кооператива (СХПК) «Сады Барабы» Новосибирской области с целью оценки эффективности действия штаммов бактерий рода Bacillus при получении саженцев облепихи из одревесневших черенков. Доказано стимулирующее действие на укоренение одревесневших черенков облепихи в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами B. subtilis ВКПМ B-10641, B. licheniformis ВКПМ B-10562 и смесью трех штаммов (экспериментальный биопрепарат Фитоп 8.67) в рабочих концентрациях 1×10⁵ КОЕ/мл – увеличение на 13,1–18,9 % относительно контроля до абсолютных уровней 48,8–51,3 %, действовавших на одинаковом уровне эффективности с эталонным вариантом Гетероауксином. Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно стимулировали увеличение биомассы саженцев на 9,1–20,5 % относительно контроля до уровня 19,0–20,4 г/растение. Наиболее стабильно по четырем годам наблюдения действовал штамм B. amyloliquefaciens ВКПМ B-10642 и смесь трех штаммов, у которых можно констатировать наибольшее ростостимулирующее влияние на растения облепихи. Повышение товарного качества саженцев облепихи доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами B. amyloliquefaciens ВКПМ B-10642 и B. licheniformis ВКПМ B-10562, увеличение на 28,6 и 17,7 % при 70,0 % в контроле. Наибольший выход саженцев в среднем за четыре года доказан в вариантах со штаммами B. subtilis ВКПМ B-10641, B. licheniformis ВКПМ B-10562 и смеси трех штаммов, которые следует признать наиболее перспективными для применения при получении саженцев из одревесневших черенков облепихи.*

# APPLICATION OF BACILLUS BACTERIAL STRAINS IN THE PROPAGATION OF SEA BUCKTHORN BY LIGIOUS CUTTINGS

**A.A. Belyaev, T.V. Shpatova, S.V. Nevolin**
*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
**E-mail:** belyaev.an.ar@gmail.com

**Keywords:** bacterial strains, sea buckthorn, vegetative propagation, lignified cuttings, rooting, growth-stimulating effect, quality of planting material.

**Abstract.** *The studies were conducted in four-year production experiments in the nursery of the agricultural production cooperative (APC) "Sady Baraby" in the Novosibirsk region to assess the effectiveness of the Bacillus bacteria strains in obtaining sea buckthorn seedlings from lignified cuttings. A stimulating effect on the rooting of lignified sea buckthorn cuttings was proven in variants with pre-planting treatment with the strains B. subtilis VKPM B-10641, B. licheniformis VKPM B-10562 and a mixture of 3 strains (experimental biopreparation Fitop 8.67) in working concentrations of 1×10⁵ CFU/ml - an increase of 13.1-18.9 % relative to the control, to absolute levels of 48.8-51.3 %, acting at the same level of efficiency with the reference variant Heteroauxin. All the studied bacterial strains reliably stimulated the increase in seedling biomass by 9.1-20.5 % relative to the control, to a level of 19.0-20.4 g/plant. The most stable over 4 years of observation were the strain B. amyloliquefaciens VKPM B-10642 and a mixture of 3 strains, which can be stated to have the greatest growth-stimulating effect on sea buckthorn plants. An increase in the commercial quality of sea buckthorn seedlings was proven in the variants with pre-planting treatment with the strains B. amyloliquefaciens VKPM B-10642 and B. licheniformis VKPM B-10562, an increase of 28.6 % and 17.7 %, with 70.0 % in the control. The highest yield of seedlings, on average*

*over 4 years, has been proven in variants with strains B. subtilis VKPM B-10641, B. licheniformis VKPM B-10562 and a mixture of 3 strains, which should be recognized as the most promising for use in obtaining seedlings from lignified cuttings of sea buckthorn.*

Облепиха является плодовым, поливитаминным, а также декоративным растением. Ее плоды употребляются в свежем виде, пригодны для различных видов переработки. Важно сырьевое назначение облепихи для производства лекарственных препаратов в связи с содержанием в плодах масла, каротиноидов, витамина С, микроэлементов. Это высокоурожайная, зимостойкая культура [1, 2].

Облепиха предпочитает относительно легкие песчаные почвы с достаточным обеспечением кислородом и влагой, выдерживает временное затопление текущей водой, хорошо растет на орошаемом черном пару. Растение испытывает сильный стресс на тяжелых, переувлажненных почвах, на заболачиваемых участках, на которых часто возникает дефицит кислорода для корневой системы и исключается получение полноценного урожая. При этом отдельные участки тканей корней отмирают или ослабляются и заселяются возбудителями усыхания растений (вилта) грибами родов *Fusarium* Link и *Verticillium* Nees. Существенно усиливают поражение механические повреждения корневой системы. Распространенность усыхания может достигать 26–60 % [3].

Облепиху размножают зелеными или одревесневшими черенками, в приусадебном хозяйстве возможно размножение корневыми отпрысками [4, 5]. В качестве оперативных мер снижения стрессовой нагрузки при выращивании посадочного материала рекомендован ряд регуляторов роста на основе 1Н-индолил-3-этановой кислоты, калиевой соли 3-индолилуксусной кислоты, 4(индол-3ил) масляной кислоты, гидроксикоричной кислоты и некоторых других веществ. Перечисленные вещества используются для предварительного замачивания черенков в течение 10–20 ч перед посадкой [6].

Биологические препараты на основе почвенных сапротрофных бактерий рода *Bacillus* обладают полифункциональным действием, включающим антагонистическое подавление фитопатогенных организмов, а также антистрессовое и ростостимулирующее действие на культурные растения [7]. Однако в существующих рекомендациях они используются в качестве биофунгифидов на различных культурных растениях, в числе которых облепиха не упоминается [6]. В наших исследованиях доказано повышение эффективности в размножении земляники, черной смородины, жимолости при предпосадочном замачивании корневой системы саженцев или одревесневших черенков в суспензиях бактерий рода *Bacillus.* В связи с наличием полифункционального действия на растения и микроорганизмы штаммы бактерий рода *Bacillus* представляют интерес для стимулирования вегетативного размножения облепихи [8–10].

Цель исследования – оценка эффективности стимулирования адаптации, роста и количества посадочного материала под действием штаммов бактерий рода *Bacillus* при получении саженцев облепихи из одревесневших черенков.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2014–2017 гг. в питомнике сельскохозяйственного производственного кооператива (СХПК) «Сады Барабы» Новосибирской области. Хозяйство расположено в подзоне северной лесостепи Барабинской низменности, почва опытного участка – чернозем выщелоченный, содержание подвижного фосфора $P_2O_5$ (по Чирикову) – 150 мг/кг, содержание обменного калия $K_2O$ (по Чирикову) более 180 мг/кг, содержание гумуса (по Тюрину в модификации ЦИНАО) 7 %, степень кислотности составляет 6,0 (pH солевой вытяжки по методу ЦИНАО), предшественник – сидеральный пар (озимая рожь). Метеоусловия 2014 г. были близки к среднемноголетней норме, гидротермический коэффициент (ГТК по Г.Т. Селянинову) составил 1,0. Период вегетации 2016 г. был жарким и засушливым (ГТК = 0,8), 2015 г. – с повышенным температурным фоном и повышенной влажностью (ГТК = 1,4), 2017 г. – с близкой к норме температурой и избытком осадков (ГТК = 1,4).

Объектами исследования служили укореняющиеся одревесневшие черенки облепихи сорта Чуйская; бактериальные штаммы микроорганизмов видов *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn, *Bacillus amyloliquefaciens* (Fukumoto) Priest et al., *Bacillus licheniformis* (Weigmann) Chester из коллекции культур разработчика препаратов ООО НПФ «Исследовательский центр» (наукоград Кольцово, Новосибирская область): *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (экспериментальный биопрепарат

Фитоп 1.68); *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 (Фитоп 3.69); *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 (Фитоп 14.72); равнопропорциональная смесь штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (Фитоп 8.67); препарат Гетероауксин П (производитель: ЗАО «ТПК Техноэкспорт»), применяемый в СХПК «Сады Барабы» для укоренения саженцев.

Производственный опыт при посадке на укоренение одревесневших черенков облепихи включал в схему четыре варианта с обработкой черенков штаммами биоагентов, а также один эталонный вариант с препаратом Гетероауксин П и один контрольный вариант.

Схема опыта:

1. Контроль (без внесения штаммов).
2. Гетероауксин П, 0,002 % (0,2 г на 10 л воды).
3. Штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 (Фитоп 3.69).
4. *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (Фитоп 1.68).
5. *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 (Фитоп 14.72).
6. Смесь трех штаммов: *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (Фитоп 8.67).

Общая площадь под опытом – 0,072 га. Сроки посадки черенков жимолости в опыте ежегодно в 1-й декаде мая. Концентрация применяемых штаммов в опытных вариантах составляла $1\times10^5$ КОЕ/мл. Расход штаммов биоагентов – по 3,0 мл на вариант. Количество обрабатываемых растений – 4984 шт. на один вариант. Способ нанесения препаратов – предпосадочное замачивание черенков в растворах соответствующих препаратов с экспозицией 1 сут. Схема посадки черенков – 1,3 м × (3 строки × 0,13 м × 0,07 м) (45 черенков на 1,3 м$^2$ = 45 черенков на 1 пог. м ряда). Поверхность почвы в рядах была мульчирована черной полиэтиленовой пленкой. Опытный участок орошался при помощи системы капельного полива марки «Аква». Суточный расход воды для полива составлял 10000 л/га.

При закладке производственного опыта и проведении учетов использовали известные методики [11, 12]. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена методами дисперсионного анализа [13] с использованием пакета прикладных компьютерных программ SNEDECOR для Windows [14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предпосадочную обработку изучаемыми препаратами одревесневших черенков облепихи сорта Чуйская, высаживаемых для укоренения, проводили 10 мая 2014 г., 2 мая 2015 г., 7 мая 2016 г. и 7 мая 2017 г. Черенки высаживали на следующий день после обработки.

Итоговые учеты состояния растений проведены 28 августа 2014 г., 1 сентября 2015 г., 27 августа 2016 г., 26 августа 2017 г.

**Укореняемость черенков**. Укореняемость черенков в среднем за четыре года исследований составила 43,1 % от числа высаженных растений (табл. 1), варьируя по годам от 65,6 % в 2014 г. до 22,7 % в 2016 г. Низкая укореняемость отмечена в 2016 г., когда в конце мая, июне, августе и сентябре наблюдались условия сильного стресса от почвенной и воздушной засухи, которая только частично смягчалась капельным поливом питомника.

*Таблица 1*

**Влияние предпосадочной обработки черенков облепихи бактериальными штаммами на укореняемость черенков, % (учеты 26 августа – 1 сентября в 2014–2017 гг., СХПК «Сады Барабы»)**
**The effect of pre-planting treatment of sea buckthorn cuttings with bacterial strains on the rooting of cuttings, % (counts from August 26 to September 1 in 2014–2017, agricultural production cooperative "Sady Baraby")**

| Вариант | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | Средние за четыре года |
|---|---|---|---|---|---|
| Контроль | 65,6 | 40,9 | 22,7 | 43,3 | 43,1 |
| Гетероауксин П, 0,002 % | **77,6*** | **47,4*** | 24,9 | **55,6*** | **51,4*** |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | 63,2 | 39,6 | 19,6 | **55,0*** | 44,3 |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | **76,8*** | **48,9*** | 21,3 | **50,6*** | **49,4*** |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | **88,8*** | **47,8*** | 21,8 | 46,7 | **51,3*** |
| Смесь трех штаммов | 68,8 | **60,0*** | 21,3 | 45,0 | **48,8*** |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 5,2 %; $НСР_{05}$ по годам = 4,2 | | | | | |

*по вариантам статистически достоверно ($P < 0,05$) выше контроля.

Стимулирующие эффекты доказаны ($P < 0,05$) в 2014 г. в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. subtilis* ВКПМ В-10641 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, увеличение на 17,1 и 35,4 % относительно контроля. В 2015 г. стимулирование укоренения доказано в вариантах с обработкой *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов, увеличение на 19,6, 16,8 и 46,7 %. В 2016 г. стимулирующее влияние в опытных вариантах не проявлялось. В 2017 г. стимулирующее действие доказано в вариантах с *B. amyloliquefaciens* ВКПМ и В-10642 *B. subtilis* ВКПМ В-10641, увеличение на 26,9 % и 16,7 % относительно контроля.

В среднем за четыре года достоверно доказано ($P < 0,05$) стимулирующее действие на укоренение черенков в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов, увеличение на 14,5, 18,9 и 13,1 % до абсолютных показателей 49,4, 51,3 и 48,8 % (уровень эффективности одинаков с эталонным вариантом Гетероауксином П, 0,002 %).

Можно констатировать наличие у штаммов *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смеси трех штаммов доказанного адаптирующего влияния на укореняющиеся черенки облепихи.

**Длина надземной части саженцев**. В контрольном варианте отрастающая надземная часть имела в конце вегетацию длину 37,5 см в 2014 г., 35,3 см – в 2015 г., 58,3 см – в 2016 г. и 54,1 см – в 2017 г (табл. 2).

*Таблица 2*

**Влияние предпосадочной обработки черенков облепихи бактериальными штаммами на длину надземной части и длину корней саженцев (учеты 26 августа – 1 сентября в 2014–2017 гг., СХПК «Сады Барабы»)**
**The effect of pre-planting treatment of sea buckthorn cuttings with bacterial strains on the length of the above-ground part and the length of the roots of seedlings (counts from August 26 to September 1 in 2014–2017, agricultural production cooperative “Sady Baraby”)**

| Вариант | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | Средние за четыре года |
|---|---|---|---|---|---|
| *Длина надземной части, см* | | | | | |
| Контроль | 37,5 | 35,3 | 58,3 | 54,1 | 46,3 |
| Гетероауксин П, 0,002% | 41,6* | 44,0* | 58,5 | **59,2*** | **50,8*** |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | 37,7 | **46,1*** | **62,7*** | **60,1*** | **51,6*** |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | 39,8 | **48,4*** | 49,1 | 55,4 | 48,2 |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | **43,5*** | **41,4*** | 56,0 | **57,6*** | 49,6* |
| Смесь трёх штаммов | **41,1*** | **48,8*** | 52,4 | **59,1*** | **50,3*** |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 2,8 см; $НСР_{05}$ по годам = 2,3 | | | | | |
| *Длина корней, см* | | | | | |
| Контроль | 11,2 | 21,3 | 17,2 | 15,1 | 16,2 |
| Гетероауксин П, 0,002% | **15,2*** | 21,2 | 13,7 | **17,0*** | 16,7 |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | **15,1*** | 19,8 | **20,7*** | **17,6*** | **18,3*** |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | **15,7*** | 20,8 | 14,2 | 15,5 | 16,5 |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | **16,0*** | 21,0 | 14,4 | 16,3 | 16,9 |
| Смесь трёх штаммов | **16,7*** | **22,8*** | 13,4 | **17,1*** | **17,5*** |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 1,3 см; $НСР_{05}$ по годам = 1,1 | | | | | |

Стимулирование длины надземной системы доказано в 2014 г. в вариантах с применением штаммов *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов, увеличение на 16,0 и 9,6% относительно контроля. В 2015 г. стимулирующие эффекты статистически достоверно ($P < 0,05$) доказаны во всех опытных вариантах с применением штаммов, увеличение длины на 17,2–38,2 % относительно контроля. В 2016 г. стимулирующее влияние на длину надземной части проявилось в варианте со штаммом *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, увеличение на 7,5 % относительно контроля. В 2017 г. стимулирующее влияние оказывали штаммы *B. amyloliquefaciens* ВКПМ

В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесь трех штаммов, увеличение на 6,5–11,2 % относительно контроля.

В среднем за четыре года наблюдений штаммы *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесь трех штаммов оказывали статистически достоверное стимулирующее влияние на длину растений, увеличение на 7,2–11,5 % при 46,3 см в контроле (уровень эффективности одинаков с эталонным вариантом Гетероауксин П).

**Длина корней саженцев**. Саженцы в контрольном варианте формировали в 2014 г. длину корней, равную в среднем 11,2 см, в 2015 г. – 21,3 см, в 2016 г. – 17,2 см и в 2017 г. – 15,1 см.

Стимулирование длины корней в 2014 г. доказано во всех вариантах с предпосадочной обработкой бактериальными штаммами, увеличение на 35,5–49,8 % относительно контроля. В 2015 г. стимулирующее влияние оказала только смесь трех штаммов, увеличение на 6,9 % относительно контроля, в 2016 г. – только штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, увеличение на 20,7 % относительно контроля. В 2017 г. стимулировали рост корней штаммом *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесью трех штаммов, увеличение на 16,7 и 13,2 % относительно контроля.

В среднем за четыре года стимулирующее влияние на длину корней саженцев доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммом *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесью трех штаммов, увеличение на 13,1 и 8,2 % при 16,2 см в контроле. При этом штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 достоверно превосходил по эффективности эталонный вариант, а смесь трех штаммов действовала на одинаковом с эталоном уровне.

**Биомасса одного саженца**. Контрольные растения формировали биомассу в 2014 г., равную 11,3 г/растение, в 2015 г. – 12,8 г/растение, в 2016 г. – 16,4 г/растение и в 2017 г. – 27,3 г/ растение (табл. 3).

*Таблица 3*

**Влияние предпосадочной обработки черенков облепихи бактериальными штаммами на среднюю биомассу и количество побегов у одного саженца (учеты 26 августа – 1 сентября в 2014–2017 гг., СХПК «Сады Барабы»)**

**The effect of pre-planting treatment of sea buckthorn cuttings with bacterial strains on the average biomass and number of shoots in one seedling (counts from August 26 to September 1 in 2014–2017, agricultural production cooperative “Sady Baraby”)**

| Вариант | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | Средние за четыре года |
|---|---|---|---|---|---|
| *Биомасса одного саженца, г/растение* | | | | | |
| Контроль | 11,3 | 12,8 | 16,4 | 27,3 | 16,9 |
| Гетероауксин П, 0,002 % | 13,2* | 14,5* | 19,4* | 29,5* | 19,1* |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | 13,4* | 15,7* | 22,6* | 29,9* | 20,4* |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | **16,0*** | **16,2*** | 14,0 | 27,7 | **18,5*** |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | **17,2*** | 12,6 | **18,7*** | **28,7*** | **19,3*** |
| Смесь трех штаммов | **15,3*** | **15,2*** | 15,9 | **29,5*** | **19,0*** |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 1,3 г/растение; $НСР_{05}$ по годам = 1,1 | | | | | |
| *Количество побегов у одного саженца, побегов/растение* | | | | | |
| Контроль | 1,19 | 1,32 | 1,10 | 1,20 | 1,20 |
| Гетероауксин П, 0,002 % | **1,30*** | 1,30 | **1,30*** | **1,40*** | **1,32*** |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | **1,36*** | 1,36 | **1,32*** | **1,42*** | **1,37*** |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | **1,29*** | 1,32 | **1,25*** | **1,35*** | **1,30*** |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | **1,33*** | 1,27 | **1,35*** | 1,15 | 1,28 |
| Смесь трех штаммов | 1,24 | 1,24 | **1,30*** | 1,15 | 1,23 |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 0,10 побегов/растение; $НСР_{05}$ по годам = 0,07 | | | | | |

В 2014 г. статистически достоверно доказано стимулирование биомассы во всех вариантах с предпосадочной обработкой всеми бактериальными штаммами, увеличение на 18,4–52,1 % относительно контрольного варианта. В 2015 г. стимулирующее влияние оказывали штаммы *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. subtilis* ВКПМ В-10641 и смесь трех штаммов, увеличение на 22,1, 26,2 и 18,7 % относительно контроля. В 2016 г. доказано стимулирование биомассы в вариантах с обработкой штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, увеличение на 38,2 и 14,4 % относительно контроля. В 2017 г. биомасса возрастала в вариантах с обработкой *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов, увеличение на 9,8, 5,3 и 8,1 % относительно контроля.

В среднем за четыре года наблюдений доказано стимулирование биомассы одного растения у всех испытываемых штаммов, увеличение на 9,1–20,5 % при 16,9 г/растение в контроле. При этом штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 по эффективности статистически достоверно ($P < 0,05$) превосходил эталонный вариант с Гетероауксином П и действовал наиболее стабильно по годам, а остальные штаммы действовали на одинаковом уровне с эталоном.

**Количество побегов у одного саженца**. Растения в контроле формировали по 1,19 побегов/растение в 2014 г., 1,32 побегов/растение – в 2025 г., 1,10 побегов/растение в 2016 г. и 1,20 побегов/растение в 2017 г.

Стимулирующее действие в 2014 г. достоверно доказано ($P < 0,05$) у штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. subtilis* ВКПМ В-10641 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, увеличение на 14,3, 8,4 и 11,8 % относительно контроля. В 2015 г. влияние штаммов не удалось доказать. В 2016 г. все изучаемые штаммы стимулировали образование побегов, увеличение на 13,6–22,7 % относительно контроля. В 2017 г. стимулирующее действие доказано у штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и *B. subtilis* ВКПМ В-10641, увеличение на 18,3 и 12,5 % относительно контроля.

В среднем за четыре года наблюдения доказано стимулирующее влияние на побегообразование облепихи у штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и *B. subtilis* ВКПМ В-10641, увеличение количества побегов на 13,5 и 8,3 % относительно контроля. Оба штамма действовали на одинаковом с эталонным вариантом уровне эффективности.

Можно констатировать наличие наибольшего ростостимулирующего действия на укореняющиеся растения облепихи при черенковании у штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смеси трех штаммов.

**Формирование количества саженцев в 1-й год выращивания на площади 100 м²**. Контрольные растения формировали в 2014 г. по 2270,7 саженцев на площади 100 м², выросших из одревесневших черенков, в 2015 г. – 1415,4 саженцев/100 м², в 2016 г. – 784,6 саженцев/100 м² и в 2017 г. – 1500,0 саженцев/100 м² (табл. 4).

*Таблица 4*

**Влияние предпосадочной обработки черенков облепихи бактериальными штаммами на формирование саженцев и их товарное качество в 1-й год выращивания (учеты 26 августа – 1 сентября 2014–2017 гг., СХПК «Сады Барабы»)**

**The effect of pre-planting treatment of sea buckthorn cuttings with bacterial strains on the formation of seedlings and their commercial quality in the 1st year of cultivation (counts from August 26 to September 1, 2014–2017, agricultural production cooperative "Sady Baraby")**

| Вариант | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | Средние за четыре года |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| *Количество саженцев, саженцев/100 м²* | | | | | |
| Контроль | 2270,7 | 1415,4 | 784,6 | 1500,0 | 1492,7 |
| Гетероауксин П, 0,002 % | **2686,1*** | **1641,4*** | 861,5 | **1923,1*** | **1778,0*** |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 | 2187,7 | 1369,2 | 676,9 | **1903,8*** | 1534,4 |
| *B. subtilis* ВКПМ В-10641 | **2658,4*** | **1692,3*** | 738,5 | **1750,0*** | **1709,8*** |
| *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 | 3073,8* | 1653,8* | 753,8 | 1615,4 | **1774,2*** |

*Окончание табл. 4*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Смесь трех штаммов | 2381,5 | **2076,9*** | 738,5 | 1557,7 | **1688,6*** |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 178,3 саженцев/100 м²; $НСР_{05}$ по годам = 145,6 | | | | | |
| *Саженцы I и II товарного сорта, % от общего количества* | | | | | |
| Контроль | 30,0 | 70,0 | 100,0 | 80,0 | 70,0 |
| Гетероауксин П, 0,002 % | **80,0*** | **100,0*** | 60,0 | 100,0* | 85,0* |
| *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 | **60,0*** | **100,0*** | 100,0 | **100,0*** | **90,0*** |
| *B. subtilis* ВКПМ B-10641 | 80,0* | **100,0*** | 60,0 | 80,0 | 80,0 |
| *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 | **70,0*** | **90,0*** | 70,0 | **100,0*** | **82,5*** |
| Смесь трех штаммов | **70,0*** | **100,0*** | 50,0 | 90,0 | 77,5 |
| $НСР_{05}$ по вариантам = 12,3 %; $НСР_{05}$ по годам = 10,1 | | | | | |

Стимулирование образования саженцев в 2014 г. статистически достоверно ($P < 0,05$) доказано в вариантах с предпосадочной обработкой черенков штаммами и *B. subtilis* ВКПМ B-10641 и *B. licheniformis* ВКПМ B-10562, увеличение на 17,1 и 35,4 % относительно контроля. В 2015 г. доказано стимулирование образования саженцев под влиянием *B. subtilis* ВКПМ B-10641, *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 и смеси трех штаммов, увеличение на 19,6, 16,8 и 46,7 % относительно контроля. В 2016 г. влияние бактериальных штаммов на формирование саженцев не было доказано. В 2017 г. стимулирование происходило в вариантах с обработкой штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 и *B. subtilis* ВКПМ B-10641.

В среднем за четыре года наблюдалось стимулирующее действие штаммов *B. subtilis* ВКПМ B-10641, *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 и смеси трех штаммов на вегетативное размножение облепихи, увеличение количества саженцев в 1,1–1,2 раза относительно контроля. Эффективность действия указанных штаммов была на одинаковом уровне с эталонным вариантом с Гетероауксином П.

**Товарное качество саженцев**. Растения в питомнике в контрольном варианте формировали саженцы I и II товарного сорта в количестве 30 % в 2014 г., в 2015 г. – 70 %. В 2016 г. – 100 % и в 2017 г. – 80 % от общего количества укоренившихся растений облепихи.

В 2014 г. – все испытываемые бактериальные штаммы стимулировали товарное качество саженцев, увеличение на 100,0–166,7 % относительно контроля. В 2015 г. – на 28,6–42,9 % относительно контроля. В 2016 г. стимулирующее действие бактериальных штаммов не было доказано. В 2017 г. стимулирующее влияние оказали штаммы *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 и *B. licheniformis* ВКПМ B-10562, увеличение на 25,0 % в обоих вариантах относительно контроля.

В среднем за четыре года наблюдений статистически достоверно доказано стимулирование товарного качества саженцев в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 и *B. licheniformis* ВКПМ B-10562, увеличение на 28,6 и 17,7 % при 70,0 % саженцев I и II товарного сорта в контроле. Эффективность действия бактериальнгых штаммов была на одинаковом уровне с эталоном Гетероауксин П.

Таким образом, следует указать, что наилучшее полифункциональное действие на укореняющиеся одревесневшие черенки облепихи в питомнике СХПК «Сады Барабы» в 2014–2015 гг. оказывали штаммы *B. subtilis* ВКПМ B-10641, *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 и смесь трех штаммов. Они стимулировали формирование количества саженцев и обладали в ряде случаев адаптирующим и ростостимулирующим влиянием на растения.

## ВЫВОДЫ

1. В 4-летних производственных экспериментах доказано стимулирующее действие на укореняемость одревесневших черенков облепихи в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. subtilis* ВКПМ B-10641, *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 и смесью трех штаммов (*B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10643, *B. subtilis* ВКПМ B-10641) в рабочих концентрациях $1\times10^5$ КОЕ/мл – увеличение на 13,1–18,9 % относительно контроля до абсолютных показателей 48,8–51,3 % (уровень

эффективности одинаков с эталонным вариантом Гетероауксином П).

2. Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно стимулировали увеличение биомассы саженцев на 9,1–20,5 % относительно контроля до уровня 19,0–20,4 г/растение. Наиболее стабильно по четырем годам наблюдения действовал штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 и смесь трех штаммов, у которых можно констатировать наибольшее ростостимулирующее влияние на растения облепихи.

3. Увеличение товарного качества саженцев облепихи (I и II сорта) доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ B-10642 и *B. licheniformis* ВКПМ B-10562, увеличение на 28,6 и 17,7 при 70,0 % в контроле. Наибольший выход саженцев в среднем за четыре года на одинаковом уровне с эталоном Гетероауксином П доказан в вариантах со штаммами *B. subtilis* ВКПМ B-10641, *B. licheniformis* ВКПМ B-10562 и смеси трех штаммов, которые следует признать наиболее перспективными для применения при получении саженцев из одревесневших черенков облепихи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Помология.* Сибирские сорта плодовых и ягодных культур XX столетия / Под ред. И.П. Калининой / РАСХН. Сиб. отд. ГНУ НИИСС им. М.А. Лисавенко. – Новосибирск: ООО «Юпитер», 2005. – 568 с.
2. *Ершова И.В.* Пищевая и биологическая ценность сортообразцов облепихи алтайской селекции // Труды международной научной онлайн-конференции «АгроНаука–2020»: сб. ст. – Новосибирск, 2020. – С. 36–39.
3. *Мирошников В.Г.* Основные болезни облепихи и меры борьбы с ними в условиях лесостепи Западнгой Сибири: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. – Новосибирск, 1996. – 16 с.
4. *Небесных М.А.* Повышение надежности вегетативного размножения *Hippophae rhamnoides* L. (Облепиха крушиновидная) для целей приусадебного садоводства // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 37. – С. 15–21.
5. *Потапова А.В., Зубик И.Н., Дорожкина Л.А.* Размножение представителей родов Лох (*Elaeagnus* L.) и Облепиха (*Hippophae* L.) одревесневшими черенками // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвященной 150-летию А.В. Леонтовича: сб. ст. – М., 2019. – С. 87–91.
6. *Государственный* каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды. Министерство сельского хозяйства РФ. – М., 2023. – 945 с.
7. *Рябчинская Т.А., Зимина Т.В.* Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агрохимия. – 2017. – № 12. – С. 62–92.
8. *Влияние* штаммов бактерий рода *Bacillus* на размножение черной смородины одревесневшими черенками / А.А. Беляев, М.В. Штерншис, Т.В. Шпатова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 1. – С. 38–40.
9. *Полифункциональное* действие штаммов бактерий рода *Bacillus* на садовую землянику / А.А. Беляев, М.В. Штерншис, Т.В. Шпатова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 4. – С. 31–34.
10. *Применение* штаммов бактерий рода *Bacillus* при размножении жимолости одревесневшими черенками / А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, С.В. Неволин, Т.В. Гаврилец // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4 (73). – С. 12–20.
11. *Производство* и сертификация посадочного материала плодовых, годных культур и винограда в России. Контроль качества. Ч. 1. Ягодные культуры. – М.: ВСТИСП, 2009. – 164 с.
12. *Программа* и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел, 1999. – 606 с.
13. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агрон. спец. – М., 2013. – 349 с.
14. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – 2-е изд. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.


## REFERENCES


1. *Pomologija. Sibirskie sorta plodovyh i jagodnyh kul'tur HH stoletija* (Pomology. Siberian varieties of fruit and berry crops of the 20th century), Novosibirsk: OOO «Jupiter», 2005, 568 p.
2. Ershova I.V., *AgroNauka-2020* (AgroScience-2020), Proceedings of the international scientific online conference, Novosibirsk, 2020, pp. 36–39. (In Russ.)
3. Miroshnikov V.G., *Osnovnye bolezni oblepihi i mery bor'by s nimi v uslovijah lesostepi Zapadngoj Sibiri* (Main diseases of sea buckthorn and measures to combat them in the forest-steppe conditions of Western Siberia), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 1996, 16 p.
4. Nebesnyh M.A., *Vestnik IrGSHA*, 2009, No. 37, pp. 15–21. (In Russ.)

5. Potapova A.V., Zubik I.N., Dorozhkina L.A., *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molodyh uchjonyh i specialistov, posvjashhjonnoj 150-letiju A.V. Leontovicha*, Proceedings of the conference Title, Moscow, 2019, pp. 87–91. (In Russ.)
6. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennyh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii. Part I. Pesticidy* (State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides), Ministerstvo sel'skogo hozjajstva RF, Moscow, 2023, 945 p.
7. Rjabchinskaja T.A., Zimina T.V., *Agrohimija*, 2017, No. 12, pp. 62–92. (In Russ.)
8. Beljaev A.A., Shternshis M.V., Shpatova T.V., Lutov V.I., Leljak A.A., Leljak A.I., Judushkin V.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2014, No. 1, pp. 38–40. (In Russ.)
9. Beljaev A.A., Shternshis M.V., Shpatova T.V., Pospelova N.P., Leljak A.A., Leljak A.I., Lutov V.I., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2015, No. 4, pp. 31–34. (In Russ.)
10. Beljaev A.A. Shpatova T.V., Nevolin S.V., Gavrilec T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 4 (73), pp. 12–20. (In Russ.)
11. *Proizvodstvo i sertifikacija posadochnogo materiala plodovyh, godnyh kul'tur i vinograda v Rossii. Kontrol' kachestva. Part 1. Jagodnye kul'tury* (Production and certification of planting material for fruits, suitable crops and grapes in Russia. Quality control. Part 1. Berry crops), Moscow: VSTISP, 2009. 164 p. (In Russ.)
12. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops), Orel, 1999, 606 p. (In Russ.)
13. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii* (Field experience methodology: with the basics of statistical processing of research results), Moscow, 2013, 349 p.
14. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk: GUP RPO SO RASKhN, 2009, 222 p.

**Информация об авторах:**
*А.А. Беляев,* доктор сельскохозяйственных наук, доцент
*Т.В. Шпатова,* кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
*С.В. Неволин,* председатель сельскохозяйственного производственного кооператива «Сады Барабы»

**Contribution of the authors:**
*A.A. Belyaev,* Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
*T.V. Shpatova,* Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
*S.V. Nevolin,* Chairman of the agricultural production cooperative "Gardens of Baraby"

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-48-58
УДК 631.363:535.372

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В РАЗМОЛАХ КУКУРУЗЫ И ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КОРМОВ

**М.В. Беляков, Е.А. Никитин, Ф.Е. Владимиров**
*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия*
**E-mail:** evgeniy.nicks@yandex.ru

**Для цитирования:** *Беляков М.В., Никитин Е.А., Владимиров Ф.Е.* Разработка методики люминесцентного контроля содержания влаги в размолах кукурузы и пшеницы при приготовлении кормов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 48–58. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-48-58.

**Ключевые слова:** приготовление кормов, контроль качества, влажность, зерновые корма, спектр возбуждения, спектр люминесценции, поток фотолюминесценции.

**Реферат.** *Приведены результаты исследования оптических свойств размолов зерна кукурузы и зерна пшеницы при различном содержании влаги в исследуемых образцах. Предложена методика варьирования содержания влаги в размолах зерна при оптических измерениях для определения корреляционно-спектральных зависимостей. При проведении оптических спектральных измерений использовали дифракционный спектрофлуориметр СМ2203 (ЗАО «Солар», Белоруссия). Измерения спектральных характеристик возбуждения η(λ) при расширенном сканировании в синхронном режиме проводили в диапазоне 230–600 нм, при средней чувствительности фотоэлектронного умножителя, длительности импульса $\tau_{дл}$ = 20 мкс, задержке импульса $\tau_{зд}$ = 0,75 мкс. Измерены синхронные спектры возбуждения размола зерна кукурузы при варьировании содержания влаги, спектры фотолюминесценции размола кукурузы для $\lambda_{в}$ = 362 нм при варьировании содержания влаги, спектры фотолюминесценции размола пшеницы при варьировании содержания влаги для $\lambda_{в}$ = 362 нм. Определены зависимости потока фотолюминесценции при варьировании содержания влаги зерновых размолов и их линейные аппроксимации для кукурузы ($\lambda_{в}$ = 362 нм), для пшеницы ($\lambda_{в}$ = 362 нм и $\lambda_{в}$ = 424 нм). Статистически достоверные зависимости от влажности можно получить для интегральных потоков фотолюминесценции при возбуждении излучением 362 нм для размолов кукурузы, 362 и 424 нм – для размолов пшеницы.*

# DEVELOPMENT OF A METHOD FOR LUMINESCENT CONTROL OF MOISTURE CONTENT IN CORN AND WHEAT GRINDINGS IN FEED PREPARATION

**M.V. Belyakov, E.A. Nikitin, F.E. Vladimirov**
*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
**E-mail:** evgeniy.nicks@yandex.ru

**Keywords:** feed preparation, quality control, humidity, grain feed, excitation spectrum, luminescence spectrum, photoluminescence flux.

**Abstract.** *The results of the study of the optical properties of corn and wheat grain grinds at different moisture content are presented in the studied samples. A technique for varying the moisture content in grain grinds with optical measurements to determine correlation and spectral dependencies is proposed. A diffraction spectrofluorimeter CM2203 (Solar CJSC, Belarus) was used for optical spectral measurements. Measurements of the spectral characteristics of excitation n(λ) with extended scanning in synchronous mode were carried out in the range from 230–600 nm, with an average sensitivity of a photoelectron multiplier, pulse duration tdl = 20 microseconds, pulse delay t = 0.75 microseconds. Synchronous excitation spectra of corn grain grinding with varying moisture content, photoluminescence spectra of corn grinding for λ = 362 nm with varying moisture content, photoluminescence spectra of wheat grinding with varying moisture content for λ = 362 nm were measured. The dependences of the photoluminescence flux with varying moisture content of grain grinds and their linear approximations for corn (λ = 362 nm), for wheat (λ = 362 nm) and (λ = 424 nm) are determined. Statistically reliable dependences on humidity can be obtained for integral photoluminescence fluxes when excited by 362 nm radiation for corn grinds and 362 nm and 424 nm for wheat grinds.*

Устоявшийся инновационный тренд последнего десятилетия в аграрном и производственном секторе – это разработка оптических средств бесконтактного контроля качества производимой продукции на предмет соответствия предъявляемым требованиям [1, 2].

В большинстве своем для реализации подобных программно-аппаратных комплексов используются фоточувствительные датчики, которые воспринимают отраженный оптический сигнал и измеряют фотонапряжение при диагностике биологических объектов, причем для параметров различного типа используются фотодиоды различных длин волн и чувствительности [3].

Говоря о влажности зерновых культур, этот параметр необходимо учитывать при принятии решений по срокам выполнения агротехнических операций, связанных с внесением удобрений, моментом уборки. Кроме того, следует определять необходимость проведения дополнительных послеуборочных мероприятий, связанных с доведением зерновых культур до оптимальных параметров влажности, обеспечивающих безопасное длительное хранение [4, 5].

Как известно, влажность зерновых культур можно измерять гравиметрическим, диэлькометрическим и оптическим методами.

Гравиметрический метод предполагает отбор проб анализируемого зерна, взвешивание и фиксацию первого показателя массы взятой пробы. Далее зерно подвергается сушке путем помещения в дегидратор, или сушильную камеру, где до прекращения убывания массы пробы зерна производится термическая обработка. Методом пропорции высчитывается процент потерянной влаги и делается заключение об уровне влажности исследуемого корма. К существенным недостаткам гравиметрического метода относят его пожароопасность, а также затраты времени, связанные с пробоподготовкой и проведением анализа, в совокупности составляющие до 30 мин [6].

Диэлькометрический метод основан на корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания в нем влаги. Этот метод получил самое широкое распространение. Результаты оценки влажности можно получить за 20 с. Однако существенным недостатком метода является погрешность измерений до 5 % [7].

Оптические методы – это наиболее перспективные методы, имеющие широкий потенциал развития. Приборы, работающие на основе оптики, являются достаточно дорогостоящими с точки зрения их разработки, однако потенциал аппаратной части раскрывает существенно более широкие возможности в части количества определяемых показателей [8–10].

Каждый химический элемент, который содержится в зерновом материале, обладает уникальными оптическими свойствами. Оценка характеристик поглощения или отражения света на определенных длинах волн позволяет определять концентрацию соответствующих химических элементов [11, 12].

В рамках настоящего исследования была разработана методика люминесцентного контроля содержания влаги в размолах пшеницы и кукурузы. Выбор культур обосновывается тем, что пшеница и кукуруза относятся к самым широкораспространенным зерновым культурам в Российской Федерации. Доля выращивания пшеницы составляет около 77 %, эта культура востребована в бытовой и хозяйственной деятельности человека, на втором месте, по данным различных источников, находится кукуруза, доля выращивания этой культуры существенно возросла за последние 10 лет, объемы ее производства незначительно опережают ячмень и составляют около 8 %, что связывают с активным развитием животноводства и использованием зерна кукурузы в качестве основного компонента концентрированного комбикорма, особенно для крупного рогатого скота [13, 14].

Несмотря на схожий химический состав зерна кукурузы и пшеницы, эти культуры оказывают разное влияние на организм животного. Крахмал пшеницы быстро ферментируется бактериями и расщепляется на 90 % в рубце крупного рогатого скота. Данный процесс происходит в более короткий срок с крахмалом кукурузы, расщепление которого происходит на 30 % меньше. Это оказывает существенное влияние на кислотно-щелочной баланс рубца и повышает риск ацидоза у животного, тем самым занижая показатель перевариваемости клетчатки. Животноводческие предприятия из северных регионов Российской Федерации не имеют возможности самостоятельно выращивать кукурузу с последующей уборкой на зерно, а покупка подобной культуры часто влияет на себестоимость получаемой продукции в сторону увеличения. Поэтому ряд предприятий вынуждены использовать пшеницу в качестве дешевой альтернативы в качестве источника крахмала в концентрированных кормах, частично заменяя кукурузу, в том числе путем предварительного

расчета рациона с использованием специализированного программного обеспечения [15–17].

Неотъемлемым мероприятием расчета рациона является определение доли потребляемого сухого вещества животным. При этом мероприятие по определению содержания влаги (обратная величина содержания сухого вещества) в каждом компоненте кормовой смеси, в том числе в концентрированном, становится обязательной составляющей эффективного кормления.

Цель исследований – разработать методику контроля содержания влаги на основе изменения фотолюминесцентных свойств концентрированных кормов на примере кукурузы и пшеницы.

Задачи исследования:

1) Провести пробоподготовку размолов зерна кукурузы и зерна пшеницы с варьируемыми показателями содержания влаги для последующих оптических измерений.

2) Измерить спектры фотолюминесценции размолов кукурузы и пшеницы с варьируемыми показателями содержания влаги.

3) Определить зависимости между содержанием влаги и оптическими свойства размолов зерна кукурузы и пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовалось зерно кукурузы и зерно пшеницы урожая 2023 г. в виде размолов. Каждая проба зерна, предназначенная для проведения оптических измерений, подвергалась размолу на лабораторном измельчителе на 30 с для каждой пробы.

Варьирование содержания влаги в образцах зерновых размолах кукурузы и пшеницы осуществлялось в предварительно определенных диапазонах, от 8,9 до 23,7 %. Границы диапазонов варьирования установлены исходя из технических условий ГОСТ 9353–2016. Пшеница и ГОСТ Р 53903–2010. Кукуруза кормовая.

Обобщающее описание процесса варьирования содержания влаги для проведения оптических измерений осуществлялось согласно принципиальной схеме, представленной на рис. 1.

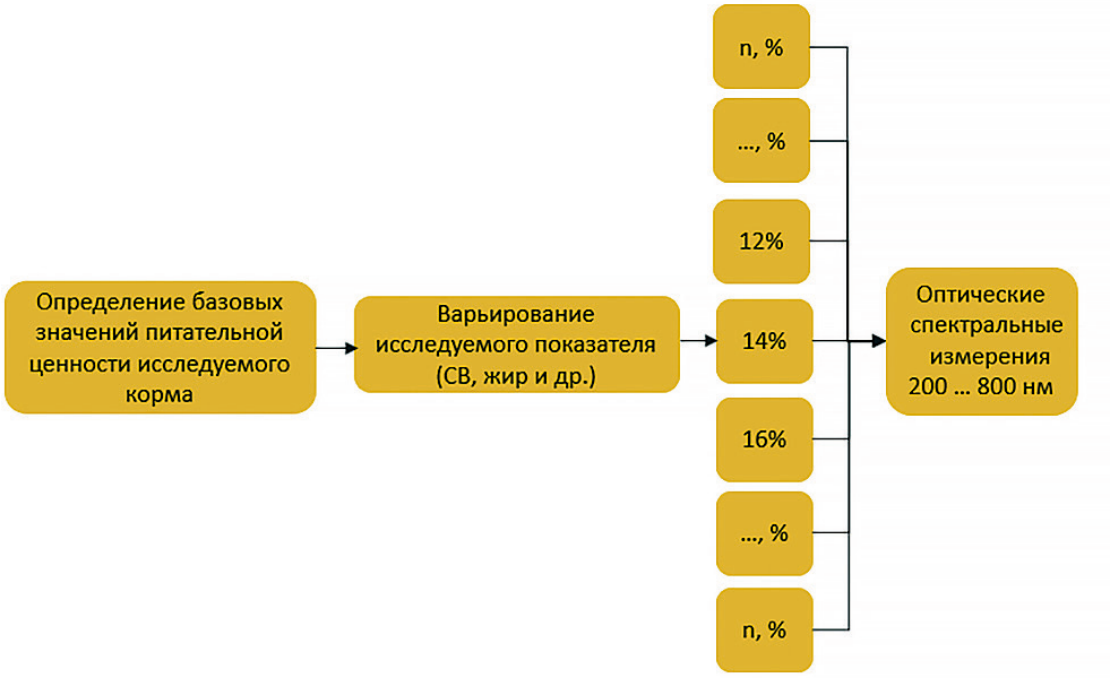



*Рис. 1.* Описание методики варьирования содержания влаги
Description of the method for varying moisture content

Процесс варьирования содержания влаги в меньшую сторону от базового показателя осуществлялся гравиметрическим методом, путем размещения зернового размола во влагомере с аналитическими весами, после чего были получены образцы кукурузы с содержанием влаги 8,9; 4,9; 6,9; 9,9 %. Базовое значение содержания влаги в размоле зерна кукурузы составило 12,4 %,

образцы зернового размола с увеличенным содержанием влаги были получены путем введения дистиллированной воды в зерновой размол с контролем внесения на аналитических весах и последующего 8-часового хранения в герметичном бюксе. Показатели образцов зернового размола кукурузы с увеличенным значением содержания влаги составили 15,4; 16,8; 20,4; 23,7 %.

Пробоподготовка образцов зернового размола пшеницы производилась по аналогичной методике, при этом базовое значение содержания влаги составило 13,8 %. Значение образцов зернового размола после сушки составило 3,3; 5,3; 7,3; 8,3; 10,0; 12,2 %. Показатели образцов зернового размола пшеницы с увеличенным значением содержания влаги составили 14,3; 13,0; 16,6 %.

Для оптических спектральных измерений использовали дифракционный спектрофлуориметр СМ2203 (ЗАО «Солар», Республика Беларусь). Измерения спектральных характеристик возбуждения η(λ) при расширенном сканировании в синхронном режиме проводили в диапазоне 230–600 нм, при средней чувствительности фотоэлектронного умножителя, длительности импульса $\tau_{дл}$ = 20 мкс, задержке импульса $\tau_{зд}$ = 0,75 мкс. Методика измерений и обработки результатов более подробно описана в [18]. На основе полученных спектров η(λ) для основных длин волн возбуждающего излучения $\lambda_в$ измерены спектры фотолюминесценции φ(λ). Для спектров рассчитаны интегральные параметры возбуждения *H* и фотолюминесценции *Ф* (поток), а также статистические параметры: математическое ожидание $M_\lambda$, дисперсия $\sigma^2$, асимметрия *As* и эксцесс *Ex*. Расчеты проводили по общепринятым формулам аналогично [19] с использованием программных пакетов MS Excel и Microcal Origin.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры возбуждения размолов кукурузы различной влажности представлены на рис. 2.

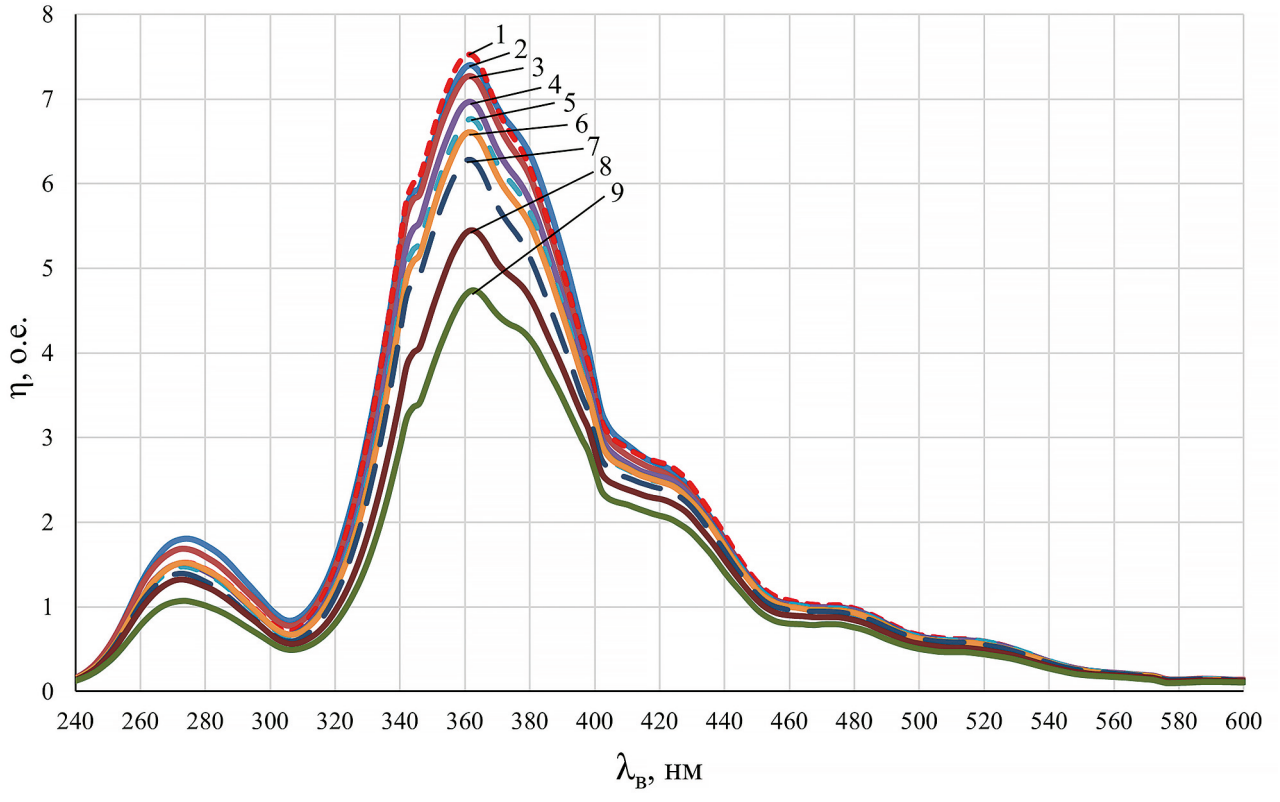



*Рис. 2.* Синхронные спектры возбуждения размола кукурузы при увлажнении: *1* – 8,9 %; *2* – 4,9 %; *3* – 6,9 %; *4* – 9,9 %; *5* – 12,4 %; *6* – 15,4 %; *7* – 16,8 %; *8* – 20,4 %; *9* – 23,7 %

Synchronous excitation spectra of corn grinding during moistening

Сравнивая характеристики с полученными ранее для целых семян [20], следует отметить, что для молотого зерна преобладает выраженный максимум на $\lambda_в$ = 362 нм и более коротковолновый на 272 нм, в то время как характерный для целого зерна максимум 424 нм заметен гораздо слабее.

Кроме того, закономерно при увеличении влажности характеристики η(λ) смещаются вниз, не меняясь качественно. Это объясняется тушением люминесценции за счёт изменения концентрации механически связанной (свободной) влаги в приповерхностных тканях.

Количественные изменения зависимостей, представленных на рис. 2 графиков, характеризует интегральный параметр *H*. Результаты его расчета как во всем спектральном диапазоне, так и в отдельных диапазонах, соответствующих его максимумам, представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Интегральные параметры спектров возбуждения размола кукурузы при изменении влажности**
**Integral parameters of excitation spectra of corn grinding with changing humidity**

| Влажность *W*, % | H ± ΔH, о. е. (в спектральных диапазонах) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 250–305 нм | 305–405 нм | 405–455 нм | 230–600 нм |
| 4,9 | 75,2 ± 5,8 | 470 ± 23 | 114 ± 8 | 725 ± 38 |
| 6,9 | 70,5 ± 8,3 | 455 ± 27 | 112 ± 7 | 708 ± 46 |
| 8,9 | 63,5 ± 9,1 | 466 ± 10 | 116 ± 6 | 717 ± 17 |
| 9,9 | 62,3 ± 7,6 | 430 ± 16 | 109 ± 5 | 671 ± 26 |
| 12,4 | 60,9 ± 8,9 | 415 ± 28 | 107 ± 9 | 654 ± 47 |
| 15,4 | 62,6 ± 5,4 | 406 ± 12 | 106 ± 5 | 643 ± 22 |
| 16,8 | 57,3 ± 5,8 | 382 ± 20 | 103 ± 7 | 609 ± 35 |
| 20,4 | 54,7 ± 5,1 | 334 ± 18 | 97 ± 7 | 547 ± 28 |
| 23,7 | 45,2 ± 4,4 | 292 ± 13 | 89 ± 4 | 481 ± 21 |

Погрешность измерения интегральных параметров возбуждения составляет не более 7 %.

Были измерены характеристики фотолюминесценции φ(λ) для трех длин волн возбуждения: $\lambda_в$ = 272 нм, $\lambda_в$ = 362 нм, $\lambda_в$ = 424 нм. Пример характеристик для возбуждения излучением длины волны 362 нм представлен на рис. 3.

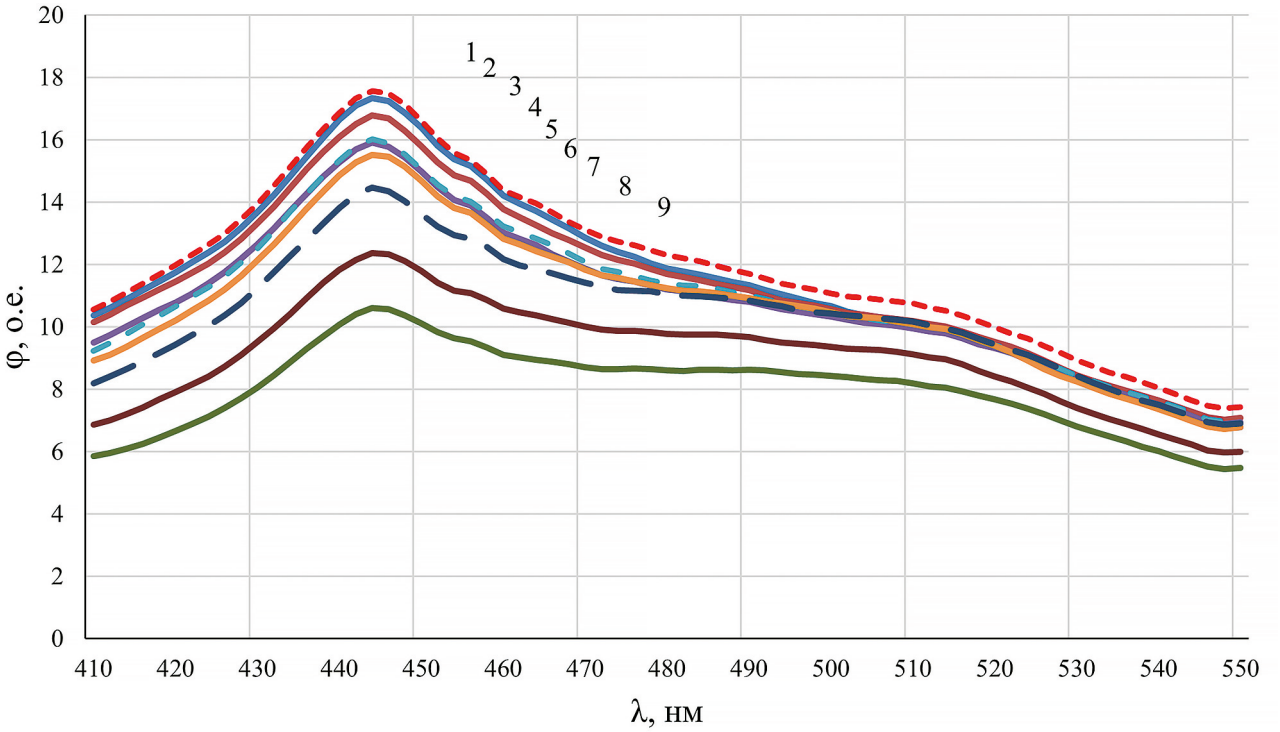



*Рис. 3.* Спектры фотолюминесценции размола кукурузы для $\lambda_в$ = 362 нм при увлажнении: *1* – 8,9 %; *2* – 4,9 %; *3* – 6,9 %; *4* – 12,4 %; *5* – 9,9 %; *6* – 15,4 %; *7* – 16,8 %; *8* – 20,4 %; *9* – 23,7 %

Photoluminescence spectra of corn grinding for λв = 362 nm under humidification

Ожидаемо, что спектры фотолюминесценции при изменении влажности ведут себя аналогично спектрам возбуждения. Интегральные потоки фотолюминесценции представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Интегральные параметры спектров фотолюминесценции размола кукурузы при изменении влажности**
**Integral parameters of photoluminescence spectra of corn grinding with changing humidity**

| Влажность *W*, % | Ф ± ΔФ, о. е. (для различных $\lambda_в$) | | |
|---|---|---|---|
| | 272 нм | 362 нм | 424 нм |
| 4,9 | 394 ± 23 | 1613 ± 107 | 600 ± 51 |
| 6,9 | 384 ± 28 | 1590 ± 104 | 647 ± 50 |
| 8,9 | 400 ± 13 | 1668 ± 40 | 666 ± 58 |
| 9,9 | 369 ± 21 | 1525 ± 67 | 627 ± 24 |
| 12,4 | 369 ± 31 | 1539 ± 103 | 649 ± 41 |
| 15,4 | 383 ± 15 | 1505 ± 36 | 587 ± 28 |
| 16,8 | 386 ± 22 | 1456 ± 95 | 571 ± 49 |
| 20,4 | 356 ± 25 | 1271 ± 87 | 484 ± 41 |
| 23,7 | 313 ± 15 | 1117 ± 63 | 420 ± 28 |

Для всех длин волн возбуждения имеет место обратная зависимость потока от влажности, но наибольшие значения потоков приходятся на возбуждение 362 нм. Погрешность измерений потоков фотолюминесценции: для $Ф_{272}$ – не более 7,3 %, для $Ф_{362}$ – не более 6,8 %, для $Ф_{424}$ – не более 8,7 %.

Также были вычислены статистические параметры спектров возбуждения. Результаты представлены в табл. 3.

*Таблица 3*

**Статистические параметры спектров возбуждения размола кукурузы при изменении влажности**
**Statistical parameters of excitation spectra of corn grinding with changing humidity**

| Влажность *W*, % | $M_λ$ | $σ^2$ | *As* | *Ex* |
|---|---|---|---|---|
| 4,9 | 376 | 3591 | 0,596 | 1,025 |
| 6,9 | 378 | 3754 | 0,611 | 0,952 |
| 8,9 | 380 | 3633 | 0,611 | 0,993 |
| 9,9 | 380 | 3754 | 0,603 | 0,917 |
| 12,4 | 381 | 3823 | 0,592 | 0,859 |
| 15,4 | 380 | 3805 | 0,571 | 0,854 |
| 16,8 | 381 | 3877 | 0,588 | 0,825 |
| 20,4 | 382 | 3952 | 0,501 | 0,714 |
| 23,7 | 383 | 3922 | 0,522 | 0,738 |

Изменение математического ожидания, дисперсии, асимметрии при изменении влажности незначительно (при изменении влажности в 4,8 раза изменение всего на 1,8; 9,2 и 14 % соответственно). Для эксцесса изменение составляет 39 % и статистически достоверно (коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$) зависимость $As(W)$ может быть аппроксимировано линейной функцией. Однако проблема практической реализации возможного метода контроля заключается в сложности измерения величины эксцесса, так как требуется измерение всего спектра возбуждения.

Для зерна пшеницы также были измерены спектры возбуждения. Их общий вид и тенденции изменения в зависимости от влажности аналогичны кукурузному зерну, за исключением смещения коротковолнового максимума с 272 на 282 нм. Для длин волн возбуждения 282, 362 и 424 нм были измерены спектры фотолюминесценции размолов зерен пшеницы. Пример для $\lambda_в = 362$ нм представлен на рис. 4.

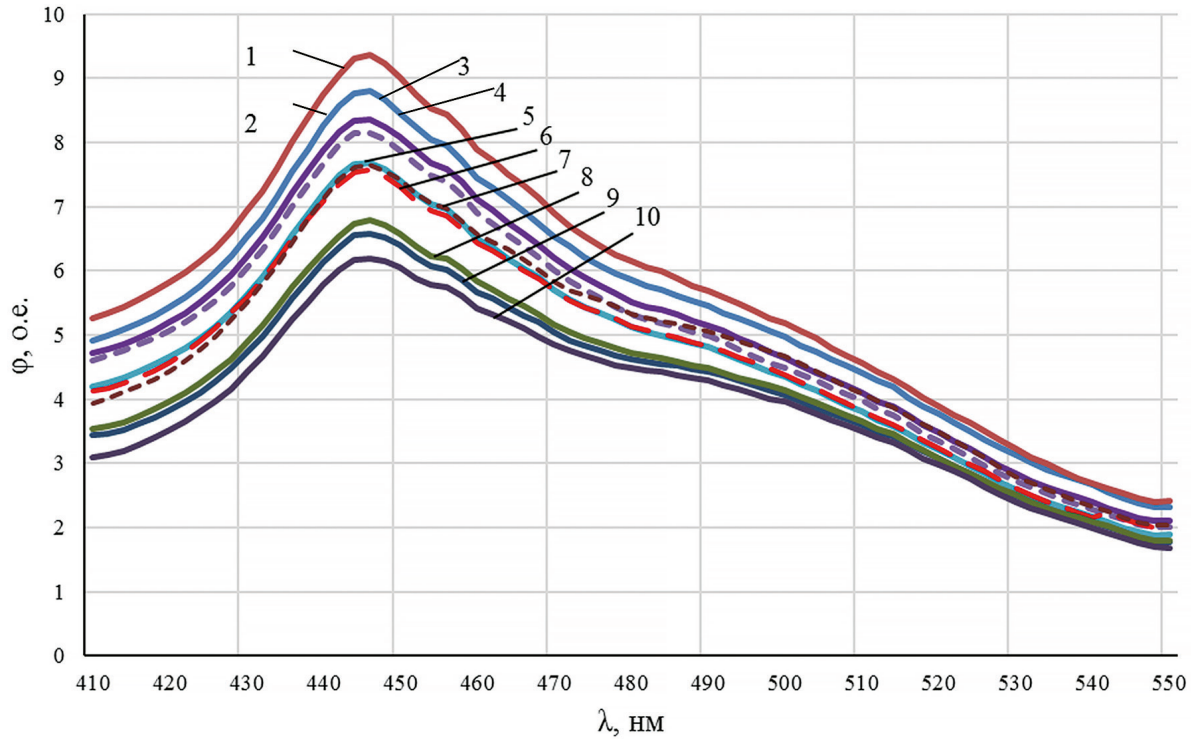



*Рис. 4.* Спектры фотолюминесценции размола пшеницы различной влажности для $\lambda_в$ = 362 нм: *1* – 5,3 %, *2* – 3,3 %, *3* – 7,3 %, *4* – 8,3 %, *5* – 10,0 %, *6* – 12,2 %, *7* – 13,8 %, *8* – 14,3 %, *9* – 13,0 %, *10* – 16,6 %

Photoluminescence spectra of wheat flour of different moisture content for λв = 362 nm

Из рисунка видно, что за исключением участка низких влажностей (3,3–5,3 %) кривые системно снижаются при увеличении влажности зернового размола. Интегральные потоки фотолюминесценции для различных длин волн возбуждения представлены в табл. 4.

*Таблица 4*

**Интегральные параметры спектров фотолюминесценции размола пшеницы при изменении влажности**
**Integral parameters of photoluminescence spectra of wheat milling with changes in humidity**

| Влажность *W*, % | Ф ± ΔФ, о. е. (для различных $\lambda_в$) | | |
|---|---|---|---|
| | 282 нм | 362 нм | 424 нм |
| 3,3 | 260±15 | 778±61 | 340±29 |
| 5,3 | 285±21 | 817±66 | 336±24 |
| 7,3 | 269±21 | 732±69 | 290±27 |
| 8,3 | 269±27 | 703±89 | 260±24 |
| 10,0 | 263±29 | 664±88 | 247±23 |
| 12,2 | 282±13 | 663±89 | 241±21 |
| 13,0 | 247±31 | 598±83 | 219±24 |
| 13,8 | 272±17 | 687±63 | 235±19 |
| 14,3 | 248±13 | 603±43 | 222±24 |
| 16,6 | 228±20 | 562±66 | 193±19 |

Из табл. 4 видно, что при возбуждении излучением 362 нм получается наибольший сигнал, однако максимальная погрешность определения потока составляет 13,9 % против 11,0 % при возбуждении 424 нм. Кроме того, для линейной аппроксимации зависимости $Ф(W)$ в 1,55 раза выше чувствительность и коэффициент детерминации составляет 0,93 против 0,83 у $\lambda_в$ = 362 нм.

Результаты расчета статистических параметров спектров возбуждения размолов пшеницы представлены в табл. 5.

*Таблица 5*

**Статистические параметры спектров возбуждения размола пшеницы при изменении влажности**
**Statistical parameters of excitation spectra of wheat milling with changing humidity**

| Влажность *W*, % | $M_\lambda$ | $\sigma^2$ | *As* | *Ex* |
|---|---|---|---|---|
| 3,3 | 353 | 4412 | 0,625 | 0,057 |
| 5,3 | 351 | 4413 | 0,669 | 0,112 |
| 7,3 | 349 | 4487 | 0,677 | 0,070 |
| 8,3 | 348 | 4457 | 0,683 | 0,101 |
| 10,0 | 346 | 4534 | 0,738 | 0,118 |
| 12,2 | 348 | 4567 | 0,722 | 0,121 |
| 13,0 | 349 | 4815 | 0,716 | 0,015 |
| 13,8 | 348 | 4626 | 0,709 | 0,051 |
| 14,3 | 347 | 4713 | 0,728 | 0,025 |
| 16,6 | 347 | 4775 | 0,744 | 0,039 |

Зависимости всех представленных в табл. 5 параметров от влажности не являются статистически достоверными. Кроме того, их относительное изменение при пятикратном увеличении влажности является незначительным.

Таким образом, для статистически достоверного определения влажности размолотого зерна целесообразно использовать потоки фотолюминесцентного излучения *Ф* при возбуждении излучением с длинами волн 362 и 424 нм. Зависимости потока фотолюминесценции от влажности зерновых размолов и их линейные аппроксимации для кукурузы и пшеницы представлены на рис. 5.

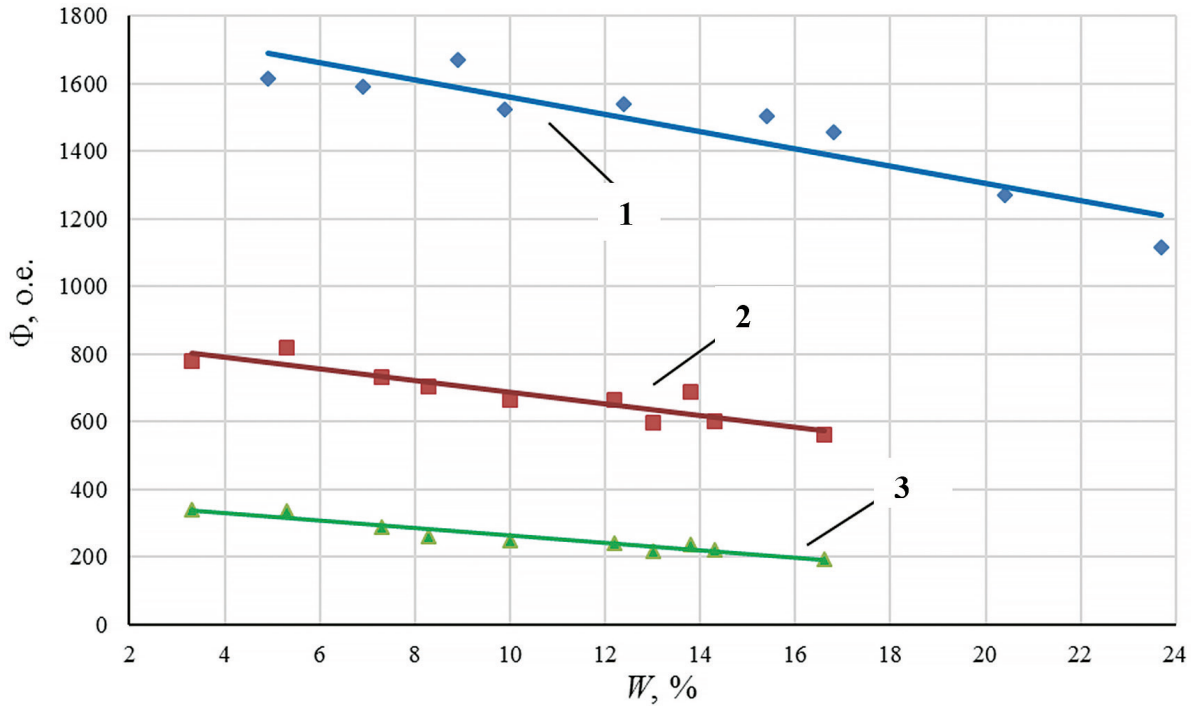



*Рис. 5.* Зависимости потока фотолюминесценции от влажности зернового размола и их линейные аппроксимации: *1* – кукуруза ($\lambda_в$ = 362 нм), *2* – пшеница ($\lambda_в$ = 362 нм), *3* – пшеница ($\lambda_в$ = 424 нм)
Dependences of photoluminescence flux on grain grinding moisture content and their linear approximations

Для практической реализации методики необходимы обратные зависимости влажности корма от потока фотолюминесценции, представленные уравнениями:

$$W_{кукурузы} = -0{,}033\Phi_{362} + 61{,}91, \quad (1)$$

$$W_{\text{пшеницы}} = -0{,}049\Phi_{362} + 43{,}41, \quad (2)$$

$$W_{\text{пшеницы}} = -0{,}084\Phi_{424} + 32{,}11. \quad (3)$$

Таким образом, методика люминесцентного контроля содержания влаги при приготовлении кормов (на примере размолотых зерен кукурузы и пшеницы) включает в себя следующие действия:

– помещение исследуемого образца корма в темную светонепроницаемую камеру;

– возбуждение люминесценции излучением 362 нм для кукурузы (возможно и для пшеницы) или 424 нм для пшеницы;

– регистрация фотолюминесцентного потока излучения в диапазонах 410–550 нм и/или 500; 650 нм;

– вычисление значения влажности по формулам (1)–(3).

Достоверность калибровочных уравнений обосновывается значением коэффициента детерминации, который превышает значение 0,85 для каждого уравнения (1), (2) и (3) – $R^2 \geq 0{,}85$.

В дальнейшем, для разработки реализующего методику прибора, необходимо из компромиссных соображений выбрать длину волны возбуждения размолотой пшеницы: для большей точности измерений необходимо использовать $\lambda_в = 424$ нм, а для удешевления прибора и увеличения уровня фотосигнала – $\lambda_в = 362$ нм.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для кормов, приготовленных из размолотого зерна, с увеличением влажности снижаются фотолюминесцентные свойства: спектры смещаются вниз, интегральные параметры уменьшаются.

2. Статистически достоверные зависимости от влажности можно получить для интегральных потоков фотолюминесценции при возбуждении излучением 362 нм для размолов кукурузы и 362 и 424 нм для размолов пшеницы. Такие параметры, как математическое ожидание, дисперсия, асимметрия и эксцесс использовать нецелесообразно из-за отсутствия статистической достоверности, низкой чувствительности либо из-за сложности измерений.

3. Методика люминесцентного контроля содержания влаги в кормах из размолотой кукурузы и пшеницы включает в себя измерение в светонепроницаемой камере потока фотолюминесценции при возбуждении излучением 362 и 424 нм с последующем вычислением влажности по полученной линейной зависимости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Improving* LIBS analysis of non-flat heterogeneous samples by signals mapping / V.N. Lednev, P.A. Sdvizhenskii, A.S. Dorohov [et al.] // Applied Optics. – 2023. – T. 62, № 8. – P. 2030. – DOI: 10.1364/ao.473111.
2. *Non-contact* assessment of the nutritional value of feed with optical technologies // Agricultural Engineering. – 2024. – T. 26, № 3. – P. 51–57. – DOI: 10.26897/2687-1149-2024-3-51-57.
3. *Fluorescence* mapping of agricultural fields utilizing drone-based lidar / V.N. Lednev, M.Ya. Grishin, P.A. Sdvizhensky [et al.] // Photonics. – 2022. – T. 9, № 12. – P. 963. – DOI: 10.3390/photonics8120563.
4. *Галеев Р.Р., Самарин И.С., Андреева З.В.* Влияние погодных условий на урожайность и качество мягкой яровой пшеницы в интенсивном земледелии лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 4 (45). – С. 9–15.
5. *Оптимизация* технологических приемов возделывания кукурузы в нечерноземной зоне России: монография / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, И.П. Фирсов, И.Н. Гаспарян. – М., 2015. – 329 с.
6. *Штейнберг Т.С., Семикина Л.И.* Разработка систем оценки качества зернопродуктов по оптическим характеристикам // Контроль качества продукции. – 2017. – № 2. – С. 32–37.
7. *Шевченко В.А., Соловьев А.М.* Влияние основных факторов на формирование урожая кукурузы в различных агротехнологиях // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: сб. мат-ов Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2016. – Т. 2. – С. 54–57.
8. *Manickavasagan A., Rathna Priya T.S.* Characterising corn grain using infrared imaging and spectroscopic techniques: a review // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2021. – Vol. 15. – P. 3234–3249.
9. *Thermal* analysis and artificial vision of laser irradiation on corn / H. Cisneros-Carrillo, C. Hernandez-Aguilar, A. Dominguez-Pacheco [et al.] // Discover Applied Sciences. – 2020. – Vol. 2, N 1606.
10. *Антонов Р.Ю.* Описание зерна моделью случайно-неоднородной оптической среды с целью межлабораторного согласования измерений показателя стекловидности // Научное приборостроение. – 2021. – Т. 31, № 2. – С. 84–92. – DOI: 10.18358/np-31-2-i8492.

11. *Применение* метода цветовой сегментации в задаче определения однородности кормосмеси / Ю.А. Иванов, С.Ю. Булатов, О.А. Тареева, Г.С. Малышев // Техника и технологии в животноводстве. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 54–63. – DOI: 10.22314/27132064-2024-1-54.
12. *Разработка* установки для определения однородности смешивания комбикорма методом цифровой обработки изображений / С.Ю. Булатов, Е.А. Герасимов, Г.С. Малышев, О.А. Тареева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (53). – С. 124–139.
13. *Оценка* качества шерстяного и льняного волокна методом ближней инфракрасной спектроскопии и растровой электронной микроскопии / С.Л. Белопухов, Е.А. Шанаева, О.А. Жарких [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2023. – № 1. – С. 43–48.
14. *Смешанные* посевы кукурузы и зернобобовых культур для совместного силосования / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова // Сельский механизатор. – 2023. – № 1–2. – С. 28–31.
15. *Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С.* Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 11–18. – DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18.
16. *Куликова Н.Н., Митяков Е.С., Шостко В.И.* Факторы успешного управления проектами цифровой трансформации // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2024. – № 2. – С. 171–176. – DOI: 10.47576/2949-1894.2024.2.2.021.
17. *Depth* Profiles in Maize (Zea mays L.) Seeds Studied by Photoacoustic Spectroscopy / C. Hernández-Aguilar, A. Domínguez-Pacheco, A. Cruz-Orea, R. Zepeda-Bautista // International journal of Thermophysics. – 2015. – Vol. 36. – P. 891–899.
18. *Chen X., Yao Z., He D.* Investigation of Optical Properties and Activity of Wheat Stripe Rust Urediospores // Agriculture. – 2023. – Vol. 13, N 1316. – DOI: 10.3390/agriculture13071316.
19. *Зиенко С.И., Беляков М.В., Малышкин В.В.* Новые методы и средства спектрально-люминесцентного анализа семян растений: монография. – Смоленск: Универсум, 2020. – 184 с.
20. *Беляков М.В.* Оптические спектральные свойства семян растений различной влажности // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 4 (59). – С. 38–50.

## REFERENCES

1. Lednev V.N., Sdvizhenskii P.A., Dorohov A.S., Gudkov S.V., Pershin S.M., Improving LIBS analysis of non-flat heterogeneous samples by signals mapping, *Applied Optics*, 2023, T. 62, No. 8, pp. 2030, DOI: 10.1364/ao.473111.
2. Nikitin E.A., Belyakov M.V., Efremenkov I.Yu., Blagov D.A., Mamedova R.A., Sviridov A.S., Alipichev A.Y., Non-contact assessment of the nutritional value of feed with optical technologies, *Agricultural Engineering*, 2024, T. 26, No. 3, pp. 51–57, DOI: 10.26897/2687-1149-2024-3-51-57.
3. Lednev V.N., Grishin M.Ya., Sdvizhensky P.A., Kurbanov R.K., Litvinov M.A., Gudkov S.V., Pershin S.M., Fluorescence mapping of agricultural fields utilizing drone-based lidar, *Photonics*, 2022, T. 9, No. 12, pp. 963, DOI: 10.3390/photonics8120563.
4. Galeev R.R., Samarin I.S., Andreeva Z.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universtet)*, 2017, No. 4 (45), pp. 9–15. (In Russ.)
5. SHevchenko V.A., Solov'ev A.M., Firsov I.P., Gasparyan I.N., *Optimizaciya tekhnologicheskih priemov vozdelyvaniya kukuruzy v nechernozemnoj zone Rossii* (Optimization of technological methods of corn cultivation in the non-chernozem zone of Russia), Moscow, 2015, 329 p.
6. SHtejnberg T.S., Semikina L.I., *Kontrol' kachestva produkcii*, 2017, No. 2, pp. 32–37. (In Russ.)
7. SHevchenko V.A., Solov'ev A.M., *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo: problemy i puti resheniya* (Land reclamation and water management: problems and solutions), Proceedings of the Conference Title, 2016, pp. 54–57. (In Russ.)
8. Manickavasagan A., Rathna Priya T.S., Characterising corn grain using infrared imaging and spectroscopic techniques: a review, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, Vol. 15, pp. 3234–3249.
9. Cisneros-Carrillo H., Hernandez-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Cruz-Orea A., Zepeda-Bautista R., Thermal analysis and artificial vision of laser irradiation on corn, *Discover Applied Sciences*, 2020, Vol. 2, No. 1606.
10. Antonov R.YU., *Nauchnoe priborostroenie*, 2021, T. 31, No. 2, pp. 84–92, DOI: 10.18358/np-31-2-i8492. (In Russ.)
11. Ivanov YU.A., Bulatov S.YU., Tareeva O.A., Malyshev G.S., *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*, 2024, T. 14, No. 1, pp. 54–63, DOI: 10.22314/27132064-2024-1-54. (In Russ.)
12. Bulatov S.YU., Gerasimov E.A., Malyshev G.S., Tareeva O.A., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024, No. 1 (53), pp. 124–139. (In Russ.)
13. Belopuhov S.L., SHanaeva E.A., ZHarkih O.A., Dmitrevskaya I.I., Razumeev K.E., ZHevnerov A.V., YUldashbaeva A.YU., *Ovcy, kozy, sherstyanoe delo*, 2023, No. 1, pp. 43–48. (In Russ.)
14. SHevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P., *Sel'skij mekhanizator*, 2023, No. 1–2, pp. 28–31. (In Russ.)

15. Morozov N.M., Kirsanov V.V., Cench YU.S., *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii*, 2023, T. 17, No. 1, pp. 11–18, DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18. (In Russ.)
16. Kulikova N.N., Mityakov E.S., SHostko V.I., *Innovacionnaya ekonomika: informaciya, analitika, prognozy*, 2024, No. 2, pp. 171–176, DOI: 10.47576/2949-1894.2024.2.2.021. (In Russ.)
17. Hernández-Aguilar C., Domínguez-Pacheco A., Cruz-Orea A., Zepeda-Bautista R., Depth Profiles in Maize (Zea mays L.) Seeds Studied by Photoacoustic Spectroscopy, *International journal of Thermophysics*, 2015, Vol. 36, pp. 891–899.
18. Chen X., Yao Z., He D., Investigation of Optical Properties and Activity of Wheat Stripe Rust Urediospores, *Agriculture*, 2023, Vol. 13, No. 1316, DOI: 10.3390/agriculture13071316.
19. Zienko S.I., Belyakov M.V., Malyshkin V.V., *Novye metody i sredstva spektral'no-lyuminescentnogo analiza semyan rastenij* (New methods and means of spectral-luminescent analysis of plant seeds), Smolensk: Universum, 2020, 184 p.
20. Belyakov M.V., *Vestnik NGIEI*, 2016, No. 4 (59), pp. 38–50. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*М.В. Беляков,* доктор технических наук, главный научный сотрудник
*Е.А. Никитин,* кандидат технических наук, старший научный сотрудник
*Ф.Е. Владимиров,* научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*M.V. Belyakov,* Doctor of Technical Sciences
*E.A. Nikitin,* Candidate of Technical Sciences, Senior researcher
*F.E. Vladimirov,* researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-59-70
УДК 631.583

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**Р.Р. Галеев, М.А. Альберт, А.Е. Зверев, А.Ф. Петров**
*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
**E-mail:** rastniev@mail.ru

**Для цитирования:** *Эффективность* применения стимуляторов роста и органоминеральных удобрений при интенсификации производства зерновых культур в Западной Сибири / Р.Р. Галеев, М.А. Альберт, А.Е. Зверев, А.Ф. Петров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 59–70. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-59-70.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, яровой ячмень, овес, сорт, рост и развитие, урожайность и качество зерна.

**Реферат.** *Представлены результаты опытов 2020–2023 гг. по оценке эффективности применения стимуляторов роста нового поколения на яровой мягкой пшенице, яровом ячмене и овсе на черноземе выщелочном лесостепи Новосибирского Приобья. Показано, что опытные поля ЗАО племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области имели содержание гумуса в среднем 6,78 %, емкость катионного обмена – 49,5 ммоль/ 100 г почвы при pH 6,4. Плотность сложения почвы в пахотном слое (0–30 см) составила 1,10 г/см$^3$, наименьшая влажность – 33,7 %, пористость равна 54,3 %. В почвах содержалось азота валового по Кьельдалю 0,24 %, фосфора – 0,24 % и калия 1,32 %. Концентрация легкогидролизуемого азота по Тюрину, Кононовой, Коринфильду – 9,47, подвижного фосфора по Чирикову – 26,9 мг и обменного калия по Масловой – 15,7 мг на 100 г почвы при pH солевой вытяжкой 5,87 (слабокислые и близкие к нейтральным почвы). Метеорологические условия в годы исследований отличались и по температурному режиму, и по сумме осадков за вегетационный период. Показано, что инновационные стимуляторы роста («Энергия-М», Крезацин и Новосил) более эффективны при использовании в качестве предпосевной обработки в следующих дозах: «Энергия-М» 4,5 г/т, Крезацин 4 г/т и Новосил 50 мг/т с расходом рабочей жидкости 10 л/т. При этом превышение к контролю (вода) составляло у яровой пшеницы 19, 22 и 24 % соответственно. Кроме того, выявлена эффективность применения стимуляторов и во время вегетации, а также сочетание этих сроков обработок. Параметры были эффективны как на яровой мягкой пшенице, так и на яровом ячмене и овсе. В исследованиях сорта ячменя Паустиан и овса сорта Макс прибавка урожайности составила 28 и 26 %. Большая эффективность была у стимуляторов роста Крезацин и Новосил относительно препарата «Энергия-М». Дисперсионным анализом показано, что урожайность зависела от сорта на 30 %, стимулятора роста – на 26 % и способа их применения – на 24 %. В разные по погодным условиям годы показана эффективность применения органоминерального удобрения путем предпосевной обработки 2 л/т с расходом рабочей жидкости 10 л/т с последующим трехкратным опрыскиванием в фазы: кущения, флаг-листа и колошения в дозе 2 л/га с расходом рабочей жидкости 300 л/га. Прибавка урожайности при влиянии этого препарата составляла у яровой пшеницы сорта Ликамеро 25 % и Новосибирская 31–23 % при улучшении качественных показателей зерна.*

# EFFECTIVENESS OF GROWTH STIMULATORS AND ORGANOMINERAL FERTILIZERS IN THE INTENSIFICATION OF GRAIN PRODUCTION IN WESTERN SIBERIA

**R.R. Galeev, M.A. Albert, A.E. Zverev, A.F. Petrov**
*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
**E-mail:** rastniev@mail.ru

**Keywords:** spring wheat, spring barley, oats, variety, growth and development, yield and grain quality.

**Abstract.** *The article presents the results of 2020–2023 experiments to assess the effectiveness of using new-generation growth stimulants on spring soft wheat, spring barley, and oats on leached chernozem of the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. It is shown that the experimental fields of the Irmen breeding farm, Ordynsky district, Novosibirsk region had an average humus content of 6.78 %, a cation exchange capacity of 49.5 mmol/100*

*g of soil at a pH of 6.4. The bulk density of the soil in the arable layer (0–30 cm) was 1.10 g/cm3, the lowest moisture content was 33.7 %, and the porosity was 54.3%. The soils contained 0.24% total nitrogen according to Kjeldahl, 0.24 % phosphorus, and 1.32 % potassium. The concentration of easily hydrolyzable nitrogen according to Tyurin, Kononova, Korinfild is 9.47, mobile phosphorus according to Chirikov is 26.9 mg and exchangeable potassium according to Maslova is 15.7 mg per 100 g of soil at a pH of salt extract of 5.87 (slightly acidic and close to neutral soils). Meteorological conditions during the years of research differed both in temperature and in the amount of precipitation during the growing season. It is shown that innovative growth stimulants (Energy-M, Krezacin and Novosil) are more effective when used as pre-sowing treatment in the following doses: Energy-M 4.5 g / t, Krezacin 4 g / t and Novosil 50 mg / t with a working fluid consumption of 10 l / t. At the same time, the excess over the control (water) was 19, 22 and 24% for spring wheat, respectively. In addition, the efficiency of using stimulants during the growing season, as well as a combination of these treatment periods, was revealed. The parameters were effective both on spring soft wheat and on spring barley and oats. In studies of the Paustian barley variety and Max oats, the yield increase was 28 % and 26 %. The growth stimulants Krezatsin and Novosil were more effective than the Energy-M preparation. The dispersion analysis showed that the yield depended on the variety by 30 %, the growth stimulant – 26 % and the method of their application – by 24 %. In years with different weather conditions, the efficiency of using organomineral fertilizer was shown by pre-sowing treatment of 2 l / t with a working fluid consumption of 10 l / t followed by three-fold spraying in the phases of tillering, flag leaf and heading at a dose of 2 l / ha with a working fluid consumption of 300 l / ha. The increase in yield under the influence of this preparation was 25 % for spring wheat of the Likamero variety and 31–23 % for Novosibirskskaya variety, with an improvement in the quality indicators of the grain.*

Зерновые культуры в мировом земледелии занимают ведущие позиции, под них отведено 56 % всех посевных площадей [1, 2]. В Российской Федерации доля посевных площадей под зерновыми культурами значительна: пшеница занимает 37 %, в том числе озимая 24 %, яровая – 12 %, ячмень – 13 %, овес – 5 % [3, 4]. Для усовершенствования и разработки инновационных и внедрения адаптивных технологий их производства необходимо выявление биологического потенциала урожайности выращиваемых сортов применительно к конкретной зоне возделывания [5, 8]. При разработке этих технологий необходим учет всех природных факторов, влияющих на урожайность и качество зерновых культур [9, 10]. Создание подобных технологий для условий Западной Сибири имеет значимость в условиях неоднородности почвенного плодородия, следует более полно реализовывать потенциал продуктивности возделываемых сортов зерновых культур при хороших качественных показателях продукции [11–16]. С целью усиления темпов роста и развития зерновых культур используются стимуляторы роста как путем обработки семян, так и в период вегетации с целью получения более ранней продукции и повышения качества зерна [17–20].

Цель исследований заключается в установлении влияния разных стимуляторов роста и органоминеральных удобрений на параметры роста и развития, урожайности и качества зерновых культур.

Для достижения поставленной цели были поставлены задачи по выявлению оптимальных способов применения стимуляторов роста на яровой мягкой пшенице, яровом ячмене и овсе и оценка их влияния на урожайность и качество продукции. Установление доли влияния органоминеральных удобрений и способов их влияния на урожайность и технологическое качество зерна двух сортов зерновой мягкой пшеницы.

Исследования проводили в 2020–2023 гг. в условиях почвенно-климатической зоны дренированной лесостепи Новосибирского Приобья.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почва опытных участков ЗАО племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области содержала 6,78 % гумуса и имела емкость катионного обмена 49,5 ммоль на 100 г почвы со значениями pH 6,4. Плотность сложения почвы пахотного слоя равна 1,10 г/см$^3$ при наименьшей влагоемкости 33,7 % и пористости 54,3 %. По данным агрохимического анализа содержалось валового азота по Кьельдалю 0,24 %, фосфора 0,24 % и калия – 1,32 %. Легкогидролизуемого азота по Тюрину, Кононовой, Коинфильду – 0,47, подвижного фосфора по методу Чирикова – 26,9 мг и обменного калия по Масловой – 15,7 мг на 100 г почвы с pH солевой вытяжки 5,87. Метеорологические условия сильно разнились в годы опытов. Год 2020-й характеризовался относительно теплым и засушливым климатом. В мае наибольшая температура была в третьей декаде, на 0,5 °С выше нормы. Июнь был жарким и засушливым, на 1,9 °С выше среднемноголетних значений. Июль отмечался температурами около нормы с максимумом во второй декаде 21,4 °С. В августе температура была выше нормы на 2,9 °С. Май был засушли-

вым, на 82 % отличался от нормы. Острая засуха имела место и в июне (51 % от нормы). В июле наблюдались осадки 116 мм, что в 1,7 раза выше нормы. В августе был недостаток тепла. В 2020 г. сумма активных температур составила 2047 °С, количество осадков 239 мм и ГТК – 1,08.

В 2021 г. в мае температура была в значениях нормы. В июне температурный режим был ниже нормы на 1,8 °С. Июль характеризовался теплым климатом, также как и август, среднемесячные температуры составляли около 19,2 °С. ГТК – 1,17, при сумме осадков ниже нормы за период вегетации (92 %). В 2022 г. температура воздуха мая была на 4,2 °С выше нормы. Июнь был на уровне среднемноголетних значений с повышением температуры до 20,7 °С в третьей декаде. Август также был ниже среднемноголетних значений на 0,9 °С при температуре 16,4 °С. По сумме осадков в мае выпало 16,9 мм, что составляло 46 % от нормы. В июле наблюдалось превышение нормы в 1,4 раза. В мае выпало лишь 38 % от нормы всех осадков. В августе – на уровне нормы. Всего за вегетацию выпало 206 мм при сумме активных температур 2012 °С и ГТК – 1,11. В 2023 г. погодные условия были близки к 2022 г. Всего за вегетацию зерновых культур выпало 214 мм с суммой активных температур 2023 °С и ГТК – 1,13.

В исследованиях использовали сорта яровой мягкой пшеницы – Ликамеро, Новосибирская 31, яровой ячмень сорта Паустиан и овес сорта Макс.

Исследования проводились в научно-производственных и полевых опытах в соответствии с методикой Б.А. Доспехова [21]. Полевые опыты проводили в 4-кратной повторности на опытных делянках в соответствии со схемой опыта с учетной площадью 60 м$^2$ и рандомизированным размещением опытных вариантов. Почвенные образцы анализировали в ФГУ «Центр агрохимической службы по Новосибирской области». Фенологические наблюдения, сохранность растений к уборке и структурный анализ выполняли по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [22]. Площадь листьев оценивали по методике Н.Ф. Коняева [23], фотосинтетический потенциал посева – по А.А. Нечипоровичу. Статистическую обработку данных выполняли по Б.А. Доспехову, использовался пакет прикладных программ Snedecor [24].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях 2020–2023 гг. на черноземе выщелочном опытных полей ЗАО племзавод «Ирмень» определялась эффективность применения стимуляторов роста и органоминеральных удобрений на яровой мягкой пшенице, яровом ячмене и овсе.

Нами установлены данные наступления фенологических фаз (массовая) зерновых культур на фоне разных способов применения стимуляторов роста. В качестве контроля использовалась обработка водой, семена до посева обрабатывали стимулятором роста «Энергия-М» 4,5 г/т, Крезацином 4 г/т и Новосилом 50 мг/т с расходом рабочей жидкости 10 л/т. Наряду с этим в период вегетации проводилось опрыскивание в период вегетации: «Энергия-М» – 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку, Крезацин – 6 г/га в фазе кущения, Новосил – 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения с расходом рабочего раствора 300 л/га.

Показано, что обработка семян стимуляторами роста способствовала ускорению прохождения фенологических фаз у яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро на 4–6 сут, у ярового ячменя сорта Паустиан на 3–5 сут и у овса сорта Макс 5–7 сут (табл. 1).

*Таблица 1*

**Даты наступления фенологических фаз (массовая) зерновых культур в зависимости от стимуляторов роста 2023 г.**
**Dates of phenological phases (mass) of grain crops, depending on growth stimulants, 2023**

| Вариант | Посев | Всходы | 3-й лист | Кущение | Выход в трубку | Колошение | Спелость | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | молочная | восковая | полная |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *Яровая мягкая пшеница. Сорт Ликамеро* | | | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 14.05 | 25.05 | 04.06 | 08.06 | 18.06 | 06.07 | 18.08 | 29.08 | 08.09 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 14.05 | 25.05 | 03.06 | 06.06 | 18.06 | 03.07 | 14.08 | 21.08 | 04.09 |

*Окончание табл. 1*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Крезацин, 4 г/т | 14.05 | 22.05 | 02.5 | 05.06 | 14.06 | 03.07 | 12.08 | 24.08 | 03.09 |
| Новосил, 50 мл/т | 14.05 | 23.05 | 02.05 | 06.06 | 14.06 | 02.06 | 14.08 | 25.08 | 03.09 |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 14.05 | 25.05 | 04.06 | 05.06 | 18.06 | 07.07 | 15.08 | 30.08 | 09.09 |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 14.05 | 24.05 | 03.06 | 05.06 | 14.06 | 04.07 | 13.08 | 24.08 | 06.09 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 14.05 | 23.05 | 02.5 | 05.06 | 15.06 | 03.07 | 12.08 | 25.08 | 05.09 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 14.05 | 22.05 | 01.05 | 06.06 | 13.06 | 02.06 | 13.08 | 26.08 | 05.09 |
| *Яровой ячмень сорта Паустиан* | | | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 12.05 | 23.05 | 27.06 | 05.06 | 20.06 | 02.07 | 16.08 | 21.08 | 23.08 |
| «Энергия-М» 4,5 г/т | 12.05 | 22.05 | 27.06 | 03.06 | 18.06 | 01.07 | 14.08 | 20.08 | 22.08 |
| Крезацин 4 г/т | 12.05 | 21.05 | 26.06 | 04.06 | 16.06 | 01.07 | 13.08 | 18.08 | 21.08 |
| Новосил 50 мл/т | 12.05 | 20.05 | 25.06 | 04.06 | 14.06 | 30.06 | 12.08 | 16.08 | 18.08 |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 12.05 | 26.05 | 30.05 | 05.06 | 19.06 | 02.07 | 15.08 | 21.08 | 23.08 |
| «Энергия-М», 10 г/ га в фазе кущения – выхода в трубку | 12.05 | 25.05 | 29.05 | 06.06 | 19.06 | 03.07 | 09.08 | 13.08 | 16.08 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 12.05 | 24.05 | 28.05 | 05.06 | 17.06 | 02.06 | 11.08 | 14.08 | 17.08 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 12.05 | 24.05 | 28.05 | 02.06 | 16.06 | 02.06 | 09.08 | 11.08 | 14.08 |
| *Овес. Сорт Макс* | | | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 20.05 | 30.05 | 08.06 | 15.06 | 19.06 | 07.07 | 13.08 | 20.08 | 26.08 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 20.05 | 28.05 | 05.06 | 12.06 | 18.06 | 03.07 | 11.08 | 17.08 | 22.08 |
| Крезацин, 4 г/т | 20.05 | 27.05 | 05.06 | 12.06 | 16.06 | 03.07 | 10.08 | 17.08 | 21.08 |
| Новосил, 50 мл/т | 20.05 | 27.05 | 04.06 | 11.06 | 17.06 | 04.07 | 09.08 | 17.08 | 20.08 |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 20.05 | 30.05 | 05.06 | 15.06 | 22.06 | 07.07 | 14.08 | 20.08 | 27.08 |
| «Энергия-М»,10 г/га в кущения – выхода в трубку | 20.05 | 30.05 | 06.06 | 14.06 | 22.06 | 06.07 | 14.08 | 18.08 | 22.08 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 20.05 | 30.05 | 06.06 | 14.06 | 21.06 | 05.07 | 12.08 | 16.08 | 22.08 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 20.05 | 30.05 | 07.06 | 15.06 | 22.06 | 06.07 | 12.08 | 17.08 | 23.08 |

*Примечание.* Норма расхода препарата при предпосевной обработке – 10 л/т, при опрыскивании в период вегетации – 300 л/га.

Следует отметить большую эффективность у яровой мягкой пшеницы препарата Энергия М и у ячменя и овса препаратов Крезацин и Новосил. При изучении фотосинтетических показателей

при использовании разных стимуляторов роста следует отметить, что максимальная площадь листьев у яровой пшеницы сорта Ликамеро была в вариантах с предпосевной обработкой у яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро в сравнении с опрыскиванием в период вегетации. Выше показатели были как максимальной, так и средней площади листьев при использовании препарата Крезацин 4 г/т. На фоне опрыскивания в период вегетации выделяется вариант с двукратной обработкой семян Новосилом 30 мл/ га в фазе кущения и колошения соответственно 23,4 и 13,7 тыс. м$^2$/ га. Максимальные значения фотосинтетического потенциала наблюдались в варианте с Новосилом при опрыскивании растений в фазы кущения и колошения 1315 тыс. м$^2$/ га и при обработке семян на фоне Крезацина 4 г/т – 1257 тыс. м$^2$ сут/га.

В исследованиях с яровым ячменем сорта Паустиан максимальная и средняя площадь листьев была выше в вариантах с предпосевной обработкой на фоне препаратов Крезацин 4 г/т и Новосил 50 мл/т, соответственно 19,9 и 10,9 тыс. м$^2$/га. В период вегетации также использование Крезацина и Новосила на 23 % повышало площадь листьев относительно контроля (вода). Максимальные показатели фотосинтетического потенциала наблюдались на фоне применения препаратов Крезацин и Новосил в фазе кущения 1003–1030 тыс. м$^2$ сут/га.

У овса сорта Макс также показатели максимальной и средней площади листьев были выше на фоне использования препаратов Крезацин и Новосил: до 19,9 и 11,2 тыс. м$^2$/га. На фоне этих препаратов фотосинтетический потенциал достиг 897 тыс. м$^2$ сут/га с применением Новосила 60 мл/ га в фазе кущения с расходом рабочей жидкости 300 л/га (табл. 2).

*Таблица 2*

**Фотосинтетические параметры зерновых культур в зависимости от стимуляторов роста (среднее за 2020–2023 гг.)**
**Photosynthetic parameters of grain crops depending on growth stimulants (average for 2020–2023)**

| Вариант | Площадь листьев | | ФСП, тыс. м$^2$ сут/га |
|---|---|---|---|
| | Максимальная | Средняя | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| *Яровая мягкая пшеница. Сорт Ликамеро* | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | |
| Контроль (вода) | 19,6 | 10,2 | 979 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 23,2 | 12,7 | 1218 |
| Крезацин, 4 г/т | 24,2 | 13,1 | 1257 |
| Новосил, 50 мл/т | 24,0 | 12,9 | 1238 |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | |
| Контроль (вода) | 19,2 | 9,83 | 944 |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 22,6 | 12,8 | 1229 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 22,9 | 13,0 | 1248 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 23,4 | 13,7 | 1315 |
| *Яровой ячмень сорта Паустиан* | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | |
| Контроль (вода) | 18,7 | 9,37 | 862 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 19,5 | 10,6 | 975 |
| Крезацин, 4 г/т | 19,9 | 10,9 | 1002 |
| Новосил, 50 мл/т | 19,8 | 10,8 | 994 |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | |
| Контроль (вода) | 17,9 | 9,16 | 842 |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 18,7 | 10,3 | 948 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 19,4 | 10,9 | 1003 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 19,9 | 11,2 | 1030 |
| *Овес. Сорт Макс* | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | |
| Контроль (вода) | 17,4 | 8,24 | 786 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 17,9 | 8,76 | 816 |
| Крезацин, 4 г/т | 18,6 | 9,57 | 868 |
| Новосил, 50 мл/т | 19,9 | 10,2 | 876 |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | |
| Контроль (вода) | 16,8 | 8,02 | 810 |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 17,6 | 9,72 | 858 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 18,3 | 9,96 | 870 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 19,1 | 10,3 | 897 |
| $НСР_{05}$ | 0,29 | 0,17 | 232 |

Определение показателей урожайности зерновых культур свидетельствует о том, что стимуляторы роста существенно повышают урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы, ярового ячменя и овса. При предпосевной обработке семян яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро урожайность повышалась на фоне Крезацина до 26 %, Новосила до 25 % и в период опрыскивания в период вегетации до 23 % с применением Новосила 30 мл/га в фазе кущения и колошения. У ярового ячменя сорта Паустиан также при предпосевной обработке семян стимуляторами роста урожайность была выше в сравнении с их использованием в период вегетации. Наибольшие прибавки урожайности достигнуты на фоне препарата «Энергия-М» 4,5 г/т – 26 % к контролю (вода), Новосила 50 мл/т – 25 % и Крезацина 4 г/т – 24 %. В период вегетации стимуляторы роста дали прибавку до 22 % при использовании Новосила 30 мл/га в фазе кущения.

В опытах с овсом сорта Макс максимальная прибавка урожайности наблюдалась в варианте с предпосевной обработкой зерна препаратом «Энергия-М» 4,5 г/т до 24 % и Новосилом 60 мл/г – 22 %. В период вегетации более эффективным был Крезацин 6 г/га в фазе кущения с прибавкой к контролю 22 %.

Дисперсионным анализом трехфакторного опыта определено, что урожайность зерна зависела от стимулятора роста на 31 %, изучаемой культуры – на 29 % и способа внесения стимулятора роста на 24 % (табл. 3).

Относительно показателей качества зерна следует отметить, что стимуляторы роста у всех культур улучшали качество продукции. У яровой мягкой пшеницы содержание сырой клейковины в сравнении с контролем повышалось на 0,3–0,8 %, белка до 0,5 и натуры до 29 % в вариантах с применением стимуляторов роста. Стекловидность зерен составила 78 % и на фоне Крезацина выросла до 85 %. У ярового ячменя сорта Паустиан стимуляторы роста незначительно увеличивали содержание белка и существенно повышали натуру зерна до 642 г/л со стимуляторами роста при 615 г/л в контроле. В опыте с овсом сорта Макс показано, что стимуляторы роста увеличивали содержание белка на 0,3–0,5 % и натуру зерна на 37–46 г/л.

*Таблица 3*

**Урожайность и качество зерна в зависимости от применения стимуляторов роста ЗАО племзавод «Ирмень» (средние данные за 2020–2023 гг.)**
**Grain yield and quality depending on the use of growth stimulants at Irmen Breeding Farm (average data for 2020–2023)**

| Вариант | Урожайность | | | Сырая клейковина, % | Белок, % | Натура, г/л | Стекловидность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | т/га | Отклонение от контроля | | | | | |
| | | т/га | % | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| *Яровая мягкая пшеница сорт Ликамеро* | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 4,78 | – | – | 28,5 | 12,8 | 786 | 78 |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 5,83 | 1,05 | 22 | 28,8 | 13,2 | 793 | 82 |
| Крезацин, 4 г/т | 6,02 | 1,24 | 26 | 29,3 | 12,9 | 815 | 85 |
| Новосил, 50 мл/т | 5,97 | 1,19 | 25 | 28,7 | 13,3 | 807 | 81 |
| Опрыскивание в период вегетации | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 4,56 | – | – | 28,3 | 13,0 | 790 | 80 |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 5,38 | 0,82 | 21 | 29,1 | 13,4 | 798 | 81 |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 5,51 | 0,95 | 20 | 28,6 | 13,2 | 814 | 82 |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 5,60 | 1,04 | 23 | 28,4 | 13,3 | 821 | 81 |
| *Яровой ячмень сорт Паустиан* | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 5,16 | – | – | – | 11,1 | 610 | – |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 6,50 | 1,34 | 26 | – | 11,0 | 636 | – |
| Крезацин, 4 г/т | 6,39 | 1,23 | 24 | – | 11,3 | 632 | – |
| Новосил, 50 мл/т | 6,46 | 1,30 | 25 | – | 11,2 | 629 | – |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 5,21 | – | – | – | 10,8 | 615 | – |
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 6,14 | 0,93 | 18 | – | 11,4 | 638 | – |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 6,20 | 0,99 | 19 | – | 11,2 | 642 | – |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 6,35 | 1,14 | 22 | – | 11,2 | 639 | – |
| *Овес. Сорт Макс* | | | | | | | |
| *Предпосевная обработка* | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 5,86 | – | – | – | 10,06 | 496 | – |
| «Энергия-М», 4,5 г/т | 7,27 | 1,41 | 24 | – | 10,05 | 538 | – |
| Крезацин, 4 г/т | 6,97 | 1,11 | 19 | – | 10,8 | 543 | – |
| Новосил, 50 мл/т | 7,15 | 1,29 | 22 | – | 10,6 | 535 | – |
| *Опрыскивание в период вегетации* | | | | | | | |
| Контроль (вода) | 5,67 | – | – | – | 10,4 | 483 | – |

*Окончание табл. 3*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| «Энергия-М», 10 г/га в фазе кущения – выхода в трубку | 6,80 | 1,13 | 20 | – | 10,02 | 524 | – |
| Крезацин, 6 г/га в фазе кущения | 6,92 | 1,25 | 22 | – | 10,07 | 516 | – |
| Новосил, 30 мл/га дважды в фазе кущения и колошения | 6,74 | 1,07 | 19 | – | 10,6 | 529 | – |
| $НСР_{05}$ | 0,53 | – | – | 0,16 | 0,23 | 16,7 | 0,32 |

*Примечание.* Результаты дисперсионного анализа трехкратного опыта: *A* (стимулятор роста), *B* (сельскохозяйственная культура), *C* (способ внесения стимулятора роста): $НСР_{05}$ для частных различий – 0,53, $НСР_{05}$ для *B* и *AB* – 0,62. Главные эффекты и взаимодействия *A* – 31,2 %; *B* – 28,6 %; *C* – 23,5 %; *AB* – 4,7; *BC* – 2,9; *AC* – 3,1; *ABC* – 2,88 %.

Нами изучалась эффективность применения органоминерального удобрения Гуминатрин 2 л/т (10 л/т расход рабочего раствора) в качестве предпосевной обработки и в период вегетации трижды в фазах: кущения, флаг-листа и колошения при дозе 2 л/га с расходом рабочей жидкости 300 л/ га. Гуминатрин является продуктом местного сибирского происхождения на основе Леонардита, предшествующего образованию бурого угля. Производится Гуминатрин в ООО «Сибирские гуматы» г. Томск. В ходе опытов с яровой мягкой пшеницей сортов Ликамеро и Новосибирская 31 выявлено, что совместная обработка зерна до посева Гуминатрином 2 л/т, а также в период вегетации, у обоих сортов увеличилось количество зерен в колосе с 26,2 шт. в контроле до 35,8 шт. Отмечено, что органоминеральное удобрение повышало содержание клейковины на 2,6 % в сравнеии с контролем. Индекс деформации клейковины у сорта Ликамеро был выше, чем у сорта Новосибирская 31 на 2 %. Стимуляторы роста повышали параметры ИДК на 4,7.

В опыте у обоих сортов отмечено повышение урожайности на фоне применения удобрения Гуминатрин, в особенности при его использовании как до посева, так и в период вегетации, при максимальной урожайности его внесения в оба этих срока. Гуминатрин способствовал повышению урожайности зерна у сорта Ликамеро до 28 % относительно контроля и сорта Новосибирская 31 до 21 % (табл. 4).

*Таблица 4*

**Влияние органоминерального удобрения Гуминатрин на сортах яровой мягкой пшеницы (средние данные за 2020–2023 гг.)**

**The effect of organomineral fertilizer Huminatrin on varieties of spring soft wheat (average data for 2020–2023)**

| Вариант | Кол-во продуктивных стеблей, шт./м² | Кол-во зерен в колосе, шт. | Сырая клейковина, % | Белок, % | ИДК | Урожайность | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | т/га | Отклонение от контроля | |
| | | | | | | | т/га | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *Яровая пшеница сорт Ликамеро* | | | | | | | | |
| Контроль (без удобрений) | 447 | 28,2 | 30,6 | 12,6 | 89,6 | 4,82 | – | – |
| Гуминатрин (предпосевная обработка), 2 л/т (I) | 482 | 36,1 | 32,8 | 13,0 | 92,4 | 6,07 | 1,25 | 26 |
| Гуминатрин (трижды): кущение, флаг-лист, колошение 2 л/т (II) | 476 | 34,5 | 31,4 | 13,2 | 90,8 | 5,98 | 1,16 | 24 |
| I+ II | 485 | 38,9 | 33,2 | 13,4 | 94,1 | 6,17 | 1,35 | 28 |

*Окончание табл. 4*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Яровая пшеница сорт Новосибирская 31* | | | | | | | | |
| Контроль (без удобрений) | 502 | 26,2 | 26,7 | 14,3 | 87,2 | 4,25 | – | – |
| Гуминатрин (предпосевная обработка), 2 л/т (I) | 518 | 30,1 | 27,2 | 14,6 | 89,6 | 5,06 | 0,81 | 19 |
| Гуминатрин (трижды): кущение, флаг-лист, колошение 2 л/т (II) | 520 | 33,2 | 27,0 | 14,2 | 92,1 | 4,94 | 0,68 | 16 |
| I+ II | 529 | 35,8 | 28,1 | 14,6 | 93,4 | 5,14 | 0,89 | 21 |
| $НСР_{05}$ | 8,37 | 0,65 | 0,12 | 0,15 | 1,26 | 0,31 | – | – |

*Примечание.* Результаты дисперсионного анализа трехфакторного опыта (2×3×4): $НСР_{05}$ для частных различий – 0,31 т, $НСР_{05}$ для главных эффектов 0,58, $НСР_{05}$ для парных взаимодействий – 0,47. Индексы детерминации *A* (сорт) – 26,4 %; *B* (стимулятор роста) – 31,6 %; *C* (год) – 233,8 %; *AB* – 3,56 %; *AC* – 2,8 %; *BC* – 1,9 %; *ABC* – 1,62 %.

Статистически определено дисперсионным анализом трехкратного опыта, что урожайность зерна яровой пшеницы зависела от стимулятора роста на 32 %, от сорта на 26 % и от условий года на 24 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе прогнозированного увеличения продукции мирового растениеводства на фоне роста потребления сельскохозяйственной продукции необходимо использовать все инструменты для оптимизации агропромышленного комплекса. В современных условиях значимая роль отводится технологиям, направленным на ускорение всех физиологических процессов основных сельскохозяйственных культур для получения высокой продуктивности и хорошего качества продукции. При этом особое значение имеют регуляторы роста, которые способны ускорять или затормаживать процессы роста. Как констатирует М.Н. Кислова [11], в условиях нечерноземной зоны России регуляторы роста на посевах зерновых культур могут повысить урожайность до 32 %. По данным ученых Удмуртии, стимуляторы роста не только повышают урожайность зерновых культур, но и способствуют повышению качества продукции, стресс-устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды и вредным организмам [13]. В ряде работ ученых дальнего зарубежья также показана эффективность использования регуляторов роста на зерновых культурах [16–20].

В наших исследованиях, приведенных в разные по метеорологическим условиям годы с острым дефицитом влаги, в особенности в 2022, 2023 гг., показана эффективность использования на основных зерновых культурах стимуляторов роста нового поколения: «Энергия-М», Крезацин и Новосил, а также органоминерального удобрения местного происхождения, производства ООО «Сибирские гуматы» г. Томск, полученного из предшественника бурого угля леонардита.

Данные препараты проявили действия по ускорению процессов роста и развития, нарастания фотосинтетического потенциала с формированием более ранней продукции зерновых культур. Стимуляторы роста оказали положительное влияние по формированию урожая разных сортов яровой мягкой пшеницы, ярового ячменя и овса, что согласуется с рядом литературных источников [10, 11, 18, 19]. Вместе с тем в наших опытах показано, что стимуляторы роста «Энергия-М», Крезацин и Новосил улучшали качество зерна, что не не согласуется с данными ряда авторов [13].

Использование органоминерального удобрения Гуминатрин 2л/т или 2л/га обеспечивало формирование должной структуры урожая и способствовало формированию высокой продуктивности при хорошем качестве продукции.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях чернозема выщелочного лесостепи Западной Сибири (на примере дренированной лесостепи Новосибирского Приобья) на опытных полях ЗАО племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области в 2020–2023 гг. при остром дефиците атмосферной и почвенной влаги в течение мая, июня и первой декады июля 2022 и 2023 гг. установлена эффективность применения на яровой мягкой пшенице сорта Ликамеро и Новосибирская 31,

яровом ячмене сорта Паустиан и овса сорта Макс экологически приемлемых стимуляторов роста: «Энергия-М», Крезацин и Новосил, а также органоминерального удобрения Гуминатрин.

2. Более эффективны при использовании в качестве предпосевной обработки были стимуляторы роста «Энергия-М» 4,5 г/т, Крезацин 4 г/т и Новосил 50 мл/т с превышением к контролю (вода) по прохождению фенологических фаз роста и развития у яровой мягкой пшеницы на 4–6 сут, ярового ячменя 5–7 сут и овса 3–5 сут.

3. Стимуляторы роста при использовании как до посева, так и при опрыскивании в период вегетации повышали показатели площади листьев у яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро до 24 %, ярового ячменя сорта Паустиан – 21 % и овса сорта Макс – 26 %. Фотосинтетический потенциал на фоне применения стимуляторов роста был выше контроля на 27 %.

4. Установлено, что данные препараты более эффективны при использовании в качестве предпосевной обработки «Энергией-М» 4,5 г/т, Крезацином 4 г/т и Нвовсилом 50 мл/т с превышением урожайности контроля (вода) соответственно 21, 23 и 26 % с нормой расхода препарата 10 л/т семян. Наряду с этим эффективно использование препаратов в период вегетации, а также сочетание этих обработок.

5. Отмечено, что стимуляторы роста были эффективны и в опытах с яровым ячменем сорта Паустиан и овсом сорта Макс с прибавкой урожайности 28 и 26 % соответственно. Препараты Крезацин и Новосил были более эффективны в сравнении со стимулятором роста «Энергия-М».

6. Стимуляторы роста достоверно улучшали качество зерна яровой пшеницы: сырая клейковина, белок, ИДК, стекловидность, натура, ярового ячменя и овса (белок, натура).

7. Статистически определено, что урожайность зерна зависит от стимулятора роста на 31 %, изучаемой культуры – на 29 %, способа применения – на 24 %.

8. Выявлена эффективность применения органоминеральных удобрений на основе продуктов бурого угля сибирского происхождения в виде препарата Гуминатрин 2 л/т с расходом рабочего раствора 10 л/т и использования также по вегетации 2 л/га трижды с расходом 300 л/ га. Гуминатрин в период вегетации применяли в фазы кущения, флаг-листа и колошения в дозе 2 л/га, что обеспечило прибавку урожайности у сортов яровой пшеницы Ликамеро 25 % и Новосибирская 31 – 23 %. При этом существенно улучшилась структура урожайности и качество продукции

9. Статистически показано, что урожайность зерна пшеницы зависела от сорта на 26 %, стимулятора роста – на 32 % и условий года – на 24 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А.* Инновационные подходы к применению элементов точного земледелия в лесостепи Западной Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 1 (35). – С. 33–40.
2. *Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А.* Эффективность применения Гуминатрина на зерновых культурах лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 1 (62). – С. 7–13.
3. *Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А.* Особенности программирования урожайности зерновых культур при точном земледелии в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4 (65). – С. 5–11.
4. *Семенов Н.И.* Регуляторы роста в земледелии Поволжья. – Саратов, 2013. – 176 с.
5. *Труфляк Е.В.* Использование элементов точного сельского хозяйства в России. – Краснодар, 2018. – 26 с.
6. *Фомин Д.С., Зубарев Ю.Н., Фомин Дм.С.* Применение элементов точного земледелия при защите посевов яровой пшеницы в Среднем Предуралье // Агрофирма. – 2023. – № 4. – С. 18–24.
7. *Галеев Р.Р.* ГИС-технологии в растениеводстве Западной Сибири. – Новосибирск, 2019. – 115 с.
8. *Петров А.Ф., Капустянчик С.Ю., Митракова А.Г.* Использование ГИС-технологий в агрономии. – Новосибирск, 2020. – 191 с.
9. *Галеев Р.Р.* Регуляторы роста в растениеводстве Сибири. – Новосибирск, 2014. – 96 с.
10. *Кабанов П.И.* Органоминеральные удобрения при интенсификации земледелия. – Киров: Ритм, 2016. – 133 с.
11. *Кислова М.Н.* Применение регуляторов роста при возделывании зерновых культур. – Пенза, 2014. – 152 с.
12. *Санрыкин Е.И., Сладких Л.А., Нулик Е.Н.* Оценка состояния посевов зерновых культур по данным дистанционного зондирования Земли // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 4, № 1. – С. 40–46.
13. *Поршенков П.Н.* Особенности применения регуляторов роста в интенсивном земледелии. – Ижевск, 2012. – 113 с.

14. *Игнатов М.М.* Современные технологии при использовании регуляторов роста на Южном Урале. – Челябинск, 2009. – 87 с.
15. *Галеев Р.Р., Локтев И.И.* Эффективность применения регуляторов роста в растениеводстве Западной Сибири. – Новосибирск, 2018. – 114 с.
16. *Siddiqui M.H., Al-Whaibi M., Basalah A.* Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance // Plant Growth Regulators: Agricultural Uses and Mechanisms. – Cham: Springer International Publishing, 2015. – P. 133–148. – (Springer Series in Plant Biology; vol. 17).
17. *Plant* growth regulators for crop improvement under abiotic stresses / M. Farooq, A. Wahid, M. Kobayashi [et al.] // Functional Plant Science and Biotechnology. – 2012. – Vol. 6, № 1. – P. 1–15.
18. *Applications* of plant growth-promoting rhizobacteria and plant growth regulators in sustainable agriculture / W. Khan, J. Kang, Z. Yu [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2020. – Vol. 11. – Art. 594239.
19. *Use* of phytohormones to enhance crop productivity under changing climate / P. Ahmad, S.A. Anjum, A. Singh [et al.] // Journal of Plant Growth Regulation. – 2022. – Vol. 41, is. 3. – P. 1122–1138.
20. *Role* of plant growth regulators in improving cereal crop productivity under abiotic stress conditions / S. Hussain, M. Sarwar, M. Arif [et al.] // Journal of Plant Growth Regulation. – 2023. – Vol. 42, № 4. – P. 1678–1692.
21. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агрон. спец. – М., 1985. – 365 с.
22. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – 324 с.
23. *Коняев Н.Ф.* Математический метод определения площади листьев. – Иркутск, 1970. – 18 с.
24. *Нечипорович А.А.* Продуктивность посевов и урожай. – М., 1961. – 261 с.
25. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Новосибирск, 2009. – 228 с.

## REFERENCES

1. Al’bert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Innovatsii i prodovol’stvennaya bezopasnost’*, 2022, No. 1 (35), pp. 33–40. (In Russ.)
2. Al’bert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2022, No. 1 (62), pp. 7–13. (In Russ.)
3. Al’bert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2022, No. 4 (65), pp. 5–11. (In Russ.)
4. Semenov N.I., *Regulyatory rosta v zemledelii Povolzh’ya* (Growth Regulators in the Agriculture of the Volga Region), Saratov, 2013, 176 p.
5. Truflyak E.V., *Ispol’zovanie elementov tochnogo sel’skogo khozyaystva v Rossii* (The Use of Elements of Precision Agriculture in Russia), Krasnodar, 2018, 26 p.
6. Fomin D.S., Zubarev Yu.N., Fomin Dm.S., *Agrofirma*, 2023, No. 4, pp. 18–24. (In Russ.)
7. Galeev R.R., *GIS-tekhnologii v rastenievodstve Zapadnoy Sibiri* (Gis technologies in crop production in Western Siberia), Novosibirsk, 2019, 115 p.
8. Petrov A.F., Kapustyanchik S.Yu., Mitrakova A.G., *Ispol’zovanie GIS-tekhnologiy v agronomii* (The use of Gis technologies in agronomy), Novosibirsk, 2020, 191 p.
9. Galeev R.R., *Regulyatory rosta v rastenievodstve Sibiri* (Growth Regulators in Crop Production in Siberia), Novosibirsk, 2014, 96 p.
10. Kabanov P.I., *Organomineral’nye udobreniya pri intensifikatsii zemledeliya* (Organomineral Fertilizers in the Intensification of Agriculture), Kirov: Ritm, 2016, 133 p.
11. Kislova M.N., *Primenenie regulyatorov rosta pri vozdelyvanii zernovykh kul’tur* (Application of growth regulators in the cultivation of grain crops), Penza, 2014, 152 p.
12. Sanrykin E.I., Sladkikh L.A., Nulik E.N., *Interekspo Geo-Sibir’*, 2015, T. 4, No. 1, pp. 40–46. (In Russ.)
13. Porshenkov P.N., *Osobennosti primeneniya regulyatorov rosta v intensivnom zemledelii* (Features of the Application of Growth Regulators in Intensive Agriculture), Izhevsk, 2012, 113 p.
14. Ignatov M.M., *Sovremennye tekhnologii pri ispol’zovanii regulyatorov rosta na Yuzhnom Urale* (Modern technologies in the use of growth regulators in the Southern Urals), Chelyabinsk, 2009, 87 p.
15. Galeev R.R., Loktev I.I., *Effektivnost’ primeneniya regulyatorov rosta v rastenievodstve Zapadnoy Sibiri* (The effectiveness of the use of growth regulators in the plant growing of Western Siberia), Novosibirsk, 2018, 114 p.
16. Siddiqui M.H., Al-Whaibi M., Basalah A., Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance, *Plant Growth Regulators: Agricultural Uses and Mechanisms*, Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 133–148, (Springer Series in Plant Biology; vol. 17).
17. Farooq M., Wahid A., Kobayashi M. [et al.], Plant growth regulators for crop improvement under abiotic stresses, *Functional Plant Science and Biotechnology*, 2012, Vol. 6, No. 1, pp. 1–15.

18. Khan W., Kang J., Yu Z. [et al.], Applications of plant growth-promoting rhizobacteria and plant growth regulators in sustainable agriculture, *Frontiers in Plant Science*, 2020, Vol. 11, Art. 594239.
19. Ahmad P., Anjum S.A., Singh A. [et al.], Use of phytohormones to enhance crop productivity under changing climate, *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, Vol. 41, is. 3, pp. 1122–1138.
20. Hussain S., Sarwar M., Arif M. [et al.], Role of plant growth regulators in improving cereal crop productivity under abiotic stress conditions, *Journal of Plant Growth Regulation*, 2023, Vol. 42, No. 4, pp. 1678–1692.
21. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experience), Moscow, 1985, 365 p.
22. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1985, 324 p.
23. Konyaev N.F., *Matematicheskiy metod opredeleniya ploshchadi list'ev* (Mathematical method for determining the area of leaves), Irkutsk, 1970, 18 p.
24. Nechiporovich A.A., *Produktivnost' posevov i urozhay* (Productivity of crops and harvest), Moscow, 1961, 261 p.
25. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied Statistics on a Computer), Novosibirsk, 2009, 228 p.

**Информация об авторах:**
*Р.Р. Галеев,* доктор сельскохозяйственных наук, профессор
*М.А. Альберт,* младший научный сотрудник
*А.Е. Зверев,* аспирант, младший научный сотрудник
*А.Ф. Петров,* доктор сельскохозяйственных наук

**Contribution of the authors:**
*R.R. Galeev,* Doctor of Agricultural Sciences, Professor
*M.A. Albert,* junior researcher
*A.E. Zverev,* graduate student, junior researcher
*A.F. Petrov,* Doctor of Agricultural Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-71-83
УДК 632.4.01/.08

# ОЦЕНКА ПОТОМСТВ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПО УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРАКНОЗУ И ПОВЫШЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ НА ИСКУССТВЕННЫХ ПРОВОКАЦИОННЫХ ФОНАХ

**В.С. Зотова, Н.В. Пролётова, Е.А. Трабурова**
*Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия*
**E-mail:** v.erofeeva.sml@fnclk.ru

**Для цитирования:** *Зотова В.С., Пролётова Н.В., Трабурова Е.А.* Оценка потомств растений-регенерантов льна-долгунца по устойчивости к антракнозу и повышенной кислотности почвы на искусственных провокационных фонах // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 71–83. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-71-83.

**Ключевые слова:** лён, антракноз, кислотность, устойчивость, селекция, регенерант, инфекционно-провокационный питомник, селекционный питомник.

**Реферат.** *Лен-долгунец – стратегическая культура с широким применением в различных отраслях экономики, включая производство красок и медицинской ваты. Однако болезни и повышенная кислотность почвы снижают урожайность льнопродукции. Исследования, проведенные в 2021–2024 гг. в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», были направлены на оценку потомств растений-регенерантов льна-долгунца, полученных в результате клеточной селекции in vitro, по устойчивости к антракнозу и повышенной кислотности почвы на искусственных провокационных фонах. Выявлено, что на основе незрелых зародышей, на селективном фоне in vitro формировались растения с различной степенью устойчивости к антракнозу. Исследования позволили из восприимчивых к патогену генотипов льна создать новые формы – НО-65, НЭ-38, НЭ-36 и НЭ-16, которые проявляли в поколениях более высокую устойчивость к патогену, чем исходные формы. Эти линии в селекционных питомниках не уступали стандартному сорту Альфа по основным показателям продуктивности волокна, включая высоту растений и вес технической части. Анализ морфологических характеристик растений льна, выращенных в условиях среднекислого фона, продемонстрировал, что генотип НО-65 – потомство регенеранта $R_3$, был самым продуктивным по количеству семян на одном растении и общей массе семян (43,9 семени и 6,64 г соответственно). У генотипа Л-2053-6-10 нз $R_1$ – потомство регенеранта $R_1$, была зафиксирована максимальная высота растений (99,6 см) и техническая длина стебля (93,4 см), а также самое большое количество коробочек на единицу растения (9,8 шт.). Этот генотип, при его устойчивости к антракнозу, может быть рекомендован для внедрения в производство с целью получения высоких урожаев волокна и семян. По показателю технической длины для производства волокна в условиях среднекислого почвенного фона может быть рекомендован генотип Феникс пф, а для производства семян – НО-65.*

# ASSESSMENT OF PROGENY OF FLAX FLAX REGENERANT PLANTS FOR RESISTANCE TO ANTHRACNOSE AND INCREASED SOIL ACIDITY ON ARTIFICIAL CULTIVATION BACKGROUNDS

**V.S. Zotova, N.V. Proletova, E.A. Traburova**
*Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia*
**E-mail:** v.erofeeva.sml@fnclk.ru

**Keywords:** flax; anthracnose; acidity; stability; breeding; regenerant; infectious and provocative nursery; breeding nursery.

**Abstract.** *Flax is a strategic crop with wide application in various sectors of the economy, including the production of paints and medical cotton wool. However, diseases and increased soil acidity reduce the yield of flax products. The research conducted in 2021–2024 at the Federal State Budgetary Budgetary Institution "Federal Research Center for Bast Crops" was aimed at evaluating the progeny of flax seedling regenerants obtained as a result of in vitro cell breeding for resistance to anthracnose and increased soil acidity on artificial provocative soils. It was revealed that plants with varying degrees of resistance to anthracnosis were formed on the basis of immature embryos on a selective background in vitro. Studies have made it possible to create new forms of flax genotypes susceptible to the pathogen - NO–65, NE-38, NE-36 and NE-16, which showed higher resistance to the*

*pathogen in generations than the original forms. These lines in breeding nurseries were not inferior to the standard Alpha variety in terms of the main indicators of the productivity of the haul, including plant height and weight of the technical part. An analysis of the morphological characteristics of flax plants grown under medium-acidic conditions demonstrated that the NO-65 genotype, the progeny of the $R_3$ regenerate, was the most productive in terms of the number of seeds per plant and the total weight of seeds (43.9 seeds and 6.64 grams, respectively). The genotype has L-2053-6-10 nc $R_1$ is the progeny of the regenerant $R_1$, the maximum height of plants (99.6 cm) and the technical length of the stem (93.4 cm) were recorded, as well as the largest number of boxes per plant unit (9.8 pcs.). This genotype, with its resistance to anthracnose, can be recommended for introduction into production in order to obtain high yields of fiber and seeds. In terms of technical length, the Phoenix pf genotype can be recommended for fiber production in conditions of a medium acidic soil background, and NO–65 for seed production.*

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) представляет собой значимую экономическую культуру, востребованную для производства волокна и масла. Качественные и количественные характеристики урожая льна-долгунца напрямую определяются множеством факторов, среди которых кислотность почвы и болезни занимают одно из ведущих мест [1–3].

В условиях повышенной кислотности почвы наблюдается снижение доступности ряда важных макро- и микроэлементов, таких как кальций, магний, фосфор и калий. Это приводит к дефициту питательных веществ, необходимых для нормального физиологического развития льна. Более того, увеличение уровня кислотности в почве способствует накапливанию алюминия, который в высоких концентрациях становится токсичным для растительных организмов [4–6]. Это может приводить к угнетению корневой системы, что, в свою очередь, ухудшает водный и питательный обмен. Повышенная кислотность также сопряжена с увеличением риска возникновения различных корневых заболеваний, таких как фузариоз и антракноз, что дополнительно дестабилизирует физиологическое состояние растений и, соответственно, приводит к снижению урожайности [7, 8].

Предварительные исследования свидетельствуют о том, что повышение кислотности почвы может значительно снизить урожай льна-долгунца на величину от 20 до 50 % в зависимости от степени кислотного загрязнения. При этом лен, находящийся в кислых условиях, демонстрирует замедленный рост, уменьшение количества побегов и ухудшение качества волокна. Несмотря на относительную устойчивость к различным агрономическим условиям, лен-долгунец ограничен в способности к адаптации в кислых почвах [9, 10].

Антракноз в настоящее время является одной из наиболее распространенных патогенных болезней льна, причиняющих значительный ущерб урожаю. Возбудитель болезни может распространяться как через семена, так и с помощью ветра, осадков и насекомых. Он активно развивается в условиях влажной и теплой погоды, поражая до 50 % посевных площадей [11, 12]. Пораженные антракнозом семена льна обладают низкой всхожестью, а растения развиваются слабо. При этом снижается как урожайность, так и качества волокна. В условиях полевого провокационного питомника возможно создание благоприятных условий для инфекции, что позволяет изучать не только патогенез заболевания, но и устойчивость различных сортов льна к антракнозу [13].

В этом контексте селекционные методы представляют собой эффективные инструменты для создания новых форм с измененными признаками и свойствами. Анализ провокационных фонов для отбора в процессе селекции на устойчивость к неблагоприятным факторам и заболеваниям является перспективным направлением для будущих исследований [14–16].

Цель данной работы – оценить устойчивость потомства растений–регенерантов льна-долгунца к антракнозу и повышенной кислотности почвы на искусственных провокационных фонах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в период с 2021 по 2024 г. на базе лаборатории селекционных технологий ОП Смоленского НИИСХ и ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК как в полевых, так и в вегетационных условиях согласно следующим методическим указаниям:

– «Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца» (2014 г.) [17];

– Методические указания по селекции льна-долгунца (1987, 2004 гг.) [18, 19].

Создание новых генотипов льна, обладающих устойчивостью к культуральному фильтрату возбудителя антракноза (*Colletotrichum lini* Manns et Bolley), осуществлялось с использованием мето-

дик, разработанных Н.В. Пролётовой, Л.П. Кудрявцевой и Е.Г. Виноградовой [20].

Для получения новых форм льна-долгунца, устойчивых к антракнозу, в качестве исходного материала использовали незрелые зародыши сортов и селекционных линий: Л 957-8-7, Л 1506-8-6, Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, Эр 130-3, а также штаммы возбудителя антракноза: сильновирулентные 793 и 784, средневирулентный 780 и слабовирулентный 788.

В процессе создания инфекционно-провокационного питомника в полевых условиях для оценки устойчивости растений-регенерантов к возбудителю антракноза использовалась живая культура патогена, которая была выращена на овсяных зернах. Искусственная популяция патогена, согласно методическим рекомендациям, состояла из 45–50 % сильновирулентных штаммов и 50–55 % средневирулентных штаммов [21].

Согласно установленной методике культура штаммов вносилась в почву за две недели до посева семян льна, при этом предварительно был проведён комплекс мероприятий по подготовке почвы для посева, включающий вспашку, боронование, внесение минеральных удобрений и культивацию [22].

При создании форм льна-долгунца, обладающих устойчивостью к повышенной кислотности почвы, объектом исследования являлись семена селекционных линий льна: Л-2053-5-11, Л-2053-6-10, НО-65. Также были изучены регенеранты, полученные в 2022–2023 гг. на основе этих линий, а именно: НО-65 нз $R_3$ (регенерант номер 3, созданный на основе незрелых зародышей из линии НО-65), Л 2053-5-11 нз $R_1$ (регенерант номер 1, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-5-11), Л 2053-5-11 нз $R_2$ (регенерант номер 2, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-5-11), Л 2053-5-11 нз $R_3$ (регенерант номер 3, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-5-11), Л 2053-6-10 нз $R_1$ (регенерант номер 1, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-6-10), Л 2053-6-10 нз $R_2$ (регенерант номер 2, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-6-10), Л 2053-6-10 нз $R_3$ (регенерант номер 3, созданный на основе незрелых зародышей из линии Л 2053-6-10).

Кроме того, исследовались формы льна-долгунца, отобранные на кислом фоне из следующих сортов: Смолич, Импульс, Феникс, Лидер и С-108, обозначенные соответственно как Смолич пф, Импульс пф, Феникс пф, Лидер пф, С-108 пф.

Посев в селекционном питомнике выполнялся вручную, что обеспечивало точный контроль как за глубиной посева семян, так и за их равномерным распределением. Использовался рядовой способ посева, который оптимально подходит для льна-долгунца, поскольку он гарантирует необходимое расстояние между растениями для их полноценного роста и развития. Для этого применяли специальный маркер с междурядьями 10 см [23].

В каждом рядке высевали 200 семян сортов, полученных при проращивании на кислой среде, а также по 50–60 семян регенерантов, полученных *in vitro* в результате клеточной селекции.

Площадь каждой отдельной делянки составляла 1 м², а трехкратная повторность эксперимента обеспечила достоверность полученных результатов, что дало возможность делать более убедительные выводы. Общая площадь, задействованная в исследованиях, составляла 3 м², что способствовало проведению репрезентативных наблюдений и учетов.

Агрометеорологические условия вегетационного периода для льна-долгунца в 2021–2023 гг. представлены описательно, а в 2024 г. представлены в табл. 1. В расчетах использовались данные о метеорологических факторах, зафиксированные ближайшей метеостанцией в городе Рославль, Смоленская область.

В 2024 г. в течение всего вегетационного периода льна-долгунца наблюдались температуры, превышающие среднемноголетние значения на 0,3–2,1 °С. Анализ климатических условий показал, что распределение осадков было крайне неравномерным: в мае и августе выпало соответственно на 12,0 и 34,0 мм меньше нормы, в то время как в июне осадки превысили норму на 107,0 мм, а июль оказался в пределах среднемноголетнего значения.

Таким образом, вегетационный период 2024 г. характеризовался теплой и дождливой погодой, что благоприятно сказалось на развитии льна-долгунца. Гидротермический коэффициент в мае составил 1,5, что соответствует уровню осадков 61,0 мм. В то же время в июне при избытке влаги по сравнению со среднемноголетними показателями этот коэффициент достиг 3,5. Изобилие осадков и высокая температура в июне и июле способствовали развитию болезней на растениях льна. Тем не менее устойчивые сорта оказались способными сохранять устойчивость к патогенам даже в таких неблагоприятных метеорологических условиях.

*Таблица 1*

**Агрометеорологические условия вегетационного периода льна-долгунца в 2024 г.**
**Agrometeorological conditions of the growing season of flax in 2024**

| Месяц | Сумма температуры воздуха, °С | Норма среднемесячной температуры, °С | Фактическая температура воздуха, °С | Отклонение от нормы, °С | Норма суммы осадков, мм | Сумма осадков, мм | % от нормы осадков | Гидротермический коэф. увлажнения по Селянинову |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Май | 403,0 | 12,7 | 13,0 | 0,3 | 73,0 | 61,0 | 83,0 | 1,5 |
| Июнь | 545,7 | 16,1 | 18,2 | 2,1 | 82,0 | 189,0 | 231,0 | 3,5 |
| Июль | 623,4 | 18,2 | 20,1 | 1,9 | 88,0 | 88,0 | 100,0 | 1,4 |
| Август | 576,7 | 16,7 | 18,6 | 1,9 | 84,0 | 50,0 | 59,0 | 0,9 |

Для статистической обработки экспериментальных данных использовались методы, позволяющие определить ключевые показатели вариации результатов эксперимента: среднее значение, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации (вариабельность) [17].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии со схемой исследования регенеранты оценивались на устойчивость к антракнозу в инфекционно-провокационном питомнике. Погодные условия 2021 г. в течение вегетационного периода льна оказались оптимальными, что способствовало как развитию растений, так и выраженности проявления антракноза.

Анализ растений, выращенных на фоне инфекции, показал, что новые формы, полученные в процессе селекции *in vitro* из линий, восприимчивых к антракнозу, проявляли различную реакцию на патоген в условиях искусственного инфекционно-провокационного фона. Результаты исследований показали, что регенеранты ряда генотипов были восприимчивы к антракнозу, как и исходные линии. Однако большинство из полученных регенерантов и их потомств характеризовались повышенной устойчивостью к болезни по сравнению с исходной формой и были отмечены как средневосприимчивые и устойчивые, с уровнем устойчивости более 50 % (табл. 2).

В течение первого года исследования наибольшую устойчивость к антракнозу на уровне 75 % проявили регенеранты НЭ-36, НЭ-17-5 и НЛ-103-1, полученные от линий Эр 130.3 и Л 957-8-7. Семь других регенерантов, среди которых НЛ-40-2, НЭ-15, НЭ-17-2, НЭ-38, НЭ-17 и НЭ-38-8, проявили среднюю восприимчивость к антракнозу, с уровнем устойчивости от 57 до 66,7 %. Формы льна, показавшие в полевых условиях устойчивость к патогену более 50 %, могут классифицироваться как средневосприимчивые, что делает их приемлемыми для использования в селекции в качестве источников устойчивости.

*Таблица 2*

**Характеристика регенерантов, полученных в результате селекции *in vitro*, по устойчивости к антракнозу (искусственный инфекционно-провокационный фон)**
**Characteristics of regenerants obtained as a result of in vitro selection for resistance to anthracnose (artificial infectious provocation background)**

| Линия | Устойчивость, % ± Sp | | |
|---|---|---|---|
| | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| НЛ-40-2 | 60±1,7 | 63±1,1 | 58±2,1 |
| НЭ-15 | 57±2,2 | 39±3,1 | 48±2,7 |
| НЭ-17-5 | 75±2,1 | 24±2,4 | 55±2,4 |
| НЭ-17-2 | 57±3,2 | 34±2,2 | 37±2,8 |
| НО-85 | 44±4,4 | 51±2,7 | 48±3,1 |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| НЭ-38 | 67±2,1 | 63±1,9 | 61±2,4 |
| НО-65 | 45±2,8 | 55±1,3 | 55±2,1 |
| НЭ-36 | 75±1,4 | 48±3,4 | 60±2,1 |
| НЭ-8 | 27±1,3 | 29±2,6 | 16±1,9 |
| НЭ-17 | 57±2,2 | 57±1,2 | 48±1,9 |
| НЭ-38-8 | 63±4,1 | 60±2,7 | 67±3,1 |
| НЛ-103-1 | 75±2,4 | 63±1,9 | 57±1,7 |
| НЭ-15-2 | 12±2,1 | 19±1,2 | 15±1,6 |
| НЭ-12 | 161,1 | 10±2,1 | 16±1,9 |
| Леона, ст. | 75±1,7 | 69±1,7 | 74±1,7 |
| Пенджаб, ст. | 28±1,7 | 19±1,7 | 32±1,7 |

Благоприятными погодными условиями для развития антракноза отличался 2022 г.: температура воздуха колебалась от +20 до +24º С, а количество осадков в период всходов льна и до стадии «ёлочка» было высоким. В результате в инфекционно-провокационном питомнике заболевание проявилось в высокой степени, даже у высокоустойчивого сорт-стандарта Леона уровень устойчивости уменьшился с 75 до 69,2 %. У большинства регенерантов в 2022 г. наблюдалось снижение устойчивости к патогену, у некоторых из них это уменьшение составило 20 % и более (например, НЭ-17-5, НЭ-17-2, НЭ-36). В то же время у регенерантов НЛ-40-2, НО-85, НО-65, НЭ-15-2, НП-16 и НП-8 устойчивость немного возросла (на 2–9 %), хотя по шкале устойчивости они все равно оставались в категории восприимчивых.

В 2023 г. условия вегетации были благоприятны для роста и развития льна, однако не способствовали развитию антракноза, поскольку влажность почвы за недостатком осадков была низкая. Дополнительный полив инфекционно-провокационного питомника помог снизить воздействие засушливых условий, что, в свою очередь, повлияло на проявление заболевания.

Показатели устойчивости к антракнозу у растений-регенерантов оставались на уровне 2021 г., однако ни один регенерант не достиг уровня устойчивости в 75 %. В сложившихся условиях устойчивость на уровне 57–62,5 % проявили следующие генотипы: НЭ-36, НЛ-103-1, НЭ-38, НЛ-40-2.

Таким образом, из-за климатических условий, повлиявших на проявление антракноза, устойчивость регенерантов к патогену в течение трех лет снижалась, но все же оставалась на высоком уровне. Уровень устойчивости регенерантов превышал уровень устойчивости исходных форм на 10–15 %.

В 2024 г. была проведена оценка по устойчивости к антракнозу 13 линий и потомств третьего поколения, полученных в результате скрещиваний устойчивых регенерантов и восприимчивых сортов Росинка и Ленок.

В условиях искусственного инфекционно-провокационного фона даже слабовирулентные штаммы возбудителя антракноза льна проявили высокую агрессивность. Исследования показали, что ни один из образцов льна не проявил высокой устойчивости к инфекции. Лишь четыре из тринадцати генотипов ($F_3$ НЭ-16-2 × Росинка, $F_3$ НО-65 × Ленок, $F_3$ НЭ-17 × Ленок, $F_3$ НЭ-36 × Ленок) проявили уровень устойчивости 50–58,8 %, что продемонстрировано в табл. 3. Это были растения потомства третьего поколения, полученного от скрещивания устойчивых к антракнозу регенерантов с восприимчивыми сортами льна-долгунца. Уровень устойчивости потомства превышал уровень устойчивости устойчивого родителя на 5–10 %. Остальные образцы оказались восприимчивыми к антракнозу, проявив уровень устойчивости в диапазоне от 36,9 до 48,8 %. Это были регенеранты как восприимчивых сортов (Феникс, Импульс, С-108, Лидер), так и устойчивых регенерантов (НО-65, Л-2053-6-10, Л-2053-5-11).

*Таблица 3*

**Устойчивость к антракнозу потомств регенерантов льна (искусственный инфекционно-провокационный фон) в 2024 г.**
**Resistance to anthracnose of flax regenerants progenies (artificial infectious provocative background) in 2024**

| № п/п | Образец | Устойчивость, % |
|---|---|---|
| 1 | НПо-6-5 | 38,8 |
| 2 | НЛ-6-10 (2) | 44,2 |
| 3 | НЛ-5-11 (4) | 51,8 |
| 4 | НОо-1-2-1 | 40,0 |
| 5 | НОо-6-3-2 | 42,4 |
| 6 | НФ-2 | 41,8 |
| 7 | НИ-2 | 48,3 |
| 8 | НС-1-0-8 | 36,9 |
| 9 | НЛд-3 | 48,8 |
| 10 | $F_3$ НЭ-16-2 × Росинка | 58,8 |
| 11 | $F_3$ НО-65 × Ленок | 56,4 |
| 12 | $F_3$ НЭ-17 × Ленок | 51,4 |
| 13 | $F_3$ НЭ-36 × Ленок | 50,0 |
| *Стандарты* | | |
| 1 | Леона | 78,3 |
| 2 | Пенджаб | 32,1 |
| 3 | Белинка | 43,6 |

Анализ результатов позволил сделать предварительные выводы о том, что если незрелые зародыши линий, полученных из клеток в селективных условиях *in vitro*, помещать вновь на селективную среду и проводить отбор устойчивых клеток, то формируются устойчивые регенеранты, которые проявляют высокую устойчивость лишь *in vitro.* В полевых условиях инфекционно-провокационного фона устойчивость снижается.

Результаты исследований хозяйственно ценных признаков показали, что созданные *in vitro* линии в целом несколько уступают своим исходным формам по продуктивности, однако относительно сорта-стандарта Альфа некоторые характеристики линий оказались выше. Так, выявлено, что по массе технической части стебля ни один регенерант не превзошел исходные формы, в то время как относительно сорта-стандарта Альфа регенеранты НЛ-40-2 и НЛ-40-1 продемонстрировали превосходство по этим показателям на 7,9 и 6,5 % соответственно (табл. 4). Что касается количества коробочек на одно растение, то все регенеранты за исключением НЛ-40-2 превзошли исходные формы на 5–20 %, и все они показали более высокие результаты, чем сорт-стандарт Альфа. В то же время при анализе показателей массы волокна с одного растения и содержания волокна все регенеранты немного уступали уровню исходных форм и сорту-стандарту Альфа. Наибольшие показатели продуктивности фиксировали у регенеранта НЭ-17, который на 11 % превзошел исходную форму Эр 130-3 по содержанию волокна, на 15,3 % – по количеству семян с одного растения, на 18,7 % – по количеству коробочек на растении.

*Таблица 4*

**Характеристика регенерантов, полученных в результате селекции *in vitro*, по основным хозяйственно ценным признакам в 2022 г.**
**Characteristics of regenerants obtained as a result of in vitro selection, according to the main economically valuable traits in 2022**

| Генотип | Масса тех. части стебля, мг ± Sp | Кол-во коробочек на растении, шт. ± Sp | Кол-во семян с одного растения, шт. ± Sp | Масса волокна с одного растения, мг ± Sp | Содержание волокна, % ±Sp |
|---|---|---|---|---|---|
| НЛ-103-2 | 382±14,1 | 4±0,8 | 23±2,6 | 202±3,3 | 28±1,0 |
| в % к и.ф.* | 96,4 | 120,0 | 128,8 | 94,6 | 95,9 |
| в % к ст.** | 99,4 | 103,3 | 104,8 | 99,8 | 98,0 |
| НЛ-40-2 | 277±12,3 | 2±0,7 | 11±2,2 | 179±4,0 | 27±1,2 |
| в % к и.ф. | 92,1 | 98,0 | 101,6 | 96,9 | 93,6 |
| в % к ст. | 107,9 | 105,0 | 104,2 | 97,1 | 99,5 |
| НЛ-40-1 | 272±13,1 | 2±0,7 | 13±2,9 | 176±3,5 | 2±1,2 |
| в % к и.ф. | 97,9 | 105,0 | 104,2 | 97,1 | 99,5 |
| в % к ст. | 106,5 | 111,7 | 112,3 | 95,0 | 98,9 |
| НЭ-38 | 286±4,3 | 3±0,9 | 19±6,5 | 173±2,9 | 26±0,7 |
| в % к и.ф. | 88,1 | 110,0 | 106,9 | 98,0 | 98,0 |
| в % к ст. | 89,5 | 106,7 | 104,6 | 98,3 | 99,0 |
| НЭ-17 | 397±9,1 | 4±1,7 | 24±9,5 | 197±4,6 | 27±,7 |
| в % к и.ф. | 99,6 | 118,7 | 115,3 | 96,1 | 111,0 |
| в % к ст. | 99,1 | 105,3 | 106,3 | 99,3 | 97,6 |

*Примечание*. и.ф.* – исходная форма; ст.** – сорт-стандарт Альфа.

Новые генотипы льна, такие как НО-65, НЭ-38, НЭ-36 и НЭ-16, были созданы с помощью селекции *in vitro* и теперь являются частью коллекции генофонда как источники устойчивости к антракнозу. Исследования, выполненные в 2023 г., показали, что эти линии по ключевым показателям продуктивности волокна – высоте растений и массе технической части, не уступают сорту-стандарту Альфа. Выявлены превышения в диапазоне от 2 до 16,01 % по высоте растений и от 16,56 до 48,84 % по массе технической части. В дополнение к этому линия НЭ-38 показала аналогичные результаты по семенной продуктивности (количество коробочек и семян на одном растении), в то время как линия НО-65 превышала стандарт на 35,3 % (табл. 5).

Среди источников устойчивости к антракнозу, исследованных в условиях *in vitro,* особое внимание привлекает линия НО-65. При уровне устойчивости к антракнозу в 55 % она значительно превосходит стандартный сорт Альфа по ряду показателей продуктивности. В частности, результаты показывают, что высота растений превышает стандарт на 16,0 %; вес технической части – на 48,8 %; масса волокна – на 40,8 %; количество коробочек на одном растении – на 28 %; число семян на одном растении – на 35,3 %.

Эти показатели делают линию льна-долгунца НО-65, полученную при отборе *in vitro,* более привлекательной для селекционных программ, открывая новые горизонты в борьбе с антракнозом и повышении продуктивности культуры.

В 2024 г. был заложен селекционный питомник льна-долгунца для оценки потомств растений-регенерантов на искусственном провокационном фоне на повышенную кислотность.

*Таблица 5*

**Характеристика линий льна, полученных при селекции *in vitro* на устойчивость к антракнозу, по параметрам продуктивности в 2023 г.**
**Characteristics of flax lines obtained through in vitro selection for resistance to anthracnose, according to productivity parameters in 2023**

| Генотип | Устойчивость к антракнозу, % | Высота растений, см | Вес техн. части растения, мг | Кол-во коробочек на одном растении, шт. | Кол-во семян на одном растении, шт. | Масса волокна с одного растения, мг | Содержание волокна, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Альфа-ст. | | 57* | 260 | 5 | 39 | 73 | 28 |
| | | 2,46** | 57,96 | 1,30 | 11,19 | 16,95 | 1,53 |
| | | 4,30*** | 22,28 | 28,79 | 28,79 | 23,15 | 5,47 |
| НО-65 | 55 | 66* | 387 | 6 | 53 | 103 | 27 |
| | | 5,21** | 121,80 | 2,36 | 21,88 | 31,56 | 1,25 |
| | | 7,86*** | 31,46 | 41,02 | 41,62 | 30,62 | 4,67 |
| НЭ-38 | 60,9 | 59* | 257 | 4 | 39 | 65 | 25 |
| | | 5,39** | 78,55 | 1,52 | 14,07 | 18,62 | 1,25 |
| | | 9,14*** | 30,51 | 35,51 | 36,40 | 28,83 | 4,93 |
| НЭ-36 | 59,8 | 58* | 303 | 4 | 32 | 80 | 26 |
| | | 4,75** | 113,53 | 1,49 | 13,08 | 31,09 | 0,99 |
| | | 8,16*** | 37,44 | 40,29 | 41,17 | 38,65 | 3,76 |
| НЭ-16 | 53,9 | 59* | 234 | 3 | 28 | 62 | 26 |
| | | 3,63** | 50,75 | 1,13 | 11,01 | 14,32 | 1,74 |
| | | 6,16*** | 21,69 | 37,61 | 38,95 | 23,23 | 6,62 |

*Примечание*. * – среднее значение, ** – среднее квадратическое отклонение, *** – коэффициент вариации (вариабельность).

В течение вегетационного периода проводились замеры высоты растений льна-долгунца, отслеживая следующие фенологические фазы: «ёлочка», быстрый рост, полное цветение, зеленая спелость, ранняя желтая спелость и полная спелость. Результаты исследований представлены в табл. 6.

*Таблица 6*

**Высота растений льна-долгунца, см, в 2024 г. (среднее по повторностям)**
**Height of flax plants, cm in 2024 (average by replicates)**

| Генотип | Фаза развития льна-долгунца | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | «Елочка» (06.06)* | Быстрый рост (13.06) * | Полное цветение (04.07) * | Зеленая спелость (19.07) * | Р.ж.** Спелость (30.07) * | Полная спелость (09.08) * |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| С-108 пф*** | 5,7 | 14,0 | 75,8 | 87,9 | 91,6 | 94,2 |
| Импульс пф | 5,8 | 13,4 | 81,3 | 88,3 | 90,8 | 93,7 |
| Смолич пф | 6,3 | 13,3 | 78,9 | 85,2 | 89,8 | 92,7 |
| Феникс пф | 5,8 | 13,5 | 74,3 | 87,1 | 92,0 | 94,3 |
| Лидер пф | 4,8 | 12,3 | 73,6 | 85,1 | 88,1 | 91,6 |
| НО-65 нз R3 | 4,3 | 10,0 | 57,9 | 69,6 | 70,4 | 73,7 |

*Окончание табл. 6*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Л-2053-5-11 нз $R_1$ | 4,0 | 12,5 | 65,8 | 90,5 | 97,8 | 101,4 |
| Л-2053-5-11 нз $R_2$ | 4,2 | 11,8 | 87,6 | 90,9 | 96,5 | 102,5 |
| Л-2053-5-11 нз $R_3$ | 4,8 | 13,8 | 55,8 | 95,6 | 96,1 | 97,4 |
| Л-2053-6-10 нз $R_1$ | 7,7 | 15,2 | 70,8 | 97,5 | 97,9 | 99,0 |
| Л-2053-6-10 нз $R_2$ | 8,6 | 13,6 | 60,7 | 87,9 | 88,8 | 90,2 |
| Л-2053-6-10 нз $R_3$ | 7,8 | 18,4 | 65,6 | 78,1 | 84,2 | 88,3 |
| $НСР_{0,5}$ | 0,3 | 1,1 | 3,6 | 4,5 | 4,3 | 5,1 |

*Примечание.* * – даты проведения замеров; **р.ж. – ранняя желтая спелость; *** – сорта, семена которых получены на провокационном фоне.

Высота растений является важным наследственно устойчивым признаком, который в значительной степени определяет урожайность волокна [17]. В ходе проведенных исследований было установлено, что на среднекислом фоне, в зависимости от сортовых особенностей, рост растений льна-долгунца в различные фазы развития изменялся. Наивысшие показатели роста были зафиксированы у регенерантов, полученных от генотипа Л-2053-5-11 ($R_1$, $R_2$). В фазе «ёлочка» высота растений льна-долгунца колебалась от 4,0 до 8,6 см.

Затем наступал период интенсивного роста стебля в высоту. На среднекислом фоне, к фазе полного цветения, высота растений, сформированных из семян, полученных от растений с кислого фона, составила: у сорта С-108 пф – 91,6 см, Импульс пф – 90,8 см, Смолич пф – 89,8 см, Феникс пф – 92,0 см, Лидер пф – 88,1 см. У регенерантов, полученных на селективном фоне *in vitro*, высота была следующей: НО-65 нз R3 – 70,4 см, Л-2053-5-11 нз R3 – 95,6 см, Л-2053-6-10 нз R3 – 65,6 см. К моменту уборки высота растений составила: у сорта С-108 пф – 94,2 см, Импульс пф – 93,7 см, Смолич пф – 92,7 см, Феникс пф – 94,3 м, Лидер пф – 91,6 см, НО-65 нз R3 – 73,7 см, Л-2053-5-11 нз R3 – 97,4 см, Л-2053-6-10 нз R3 – 88,3 см.

В течение вегетации на среднекислом фоне наиболее интенсивный рост растений всех генотипов наблюдали от фазы «ёлочка» до фазы «быстрый рост». В течение семи суток высота растений увеличивалась на 32–63,2 % в зависимости от генотипа. В фазу быстрого роста до полного цветения высота растений льна за три недели увеличивалась на 18–20 %. В последующие фазы вегетации высота растений увеличивалась на 5–10 %. Таким образом, наиболее высокорослым на среднекислом фоне к моменту уборки был регенерант 2-й линии Л-2053-5-11, наименьшая высота зафиксирована у регенеранта 3-й линии НО-65.

После уборки генотипы оценивались по следующим параметрам: высота растений, количество растений в снопе, техническая длина, количество коробочек и семян на растении, масса семян.

Анализ результатов оценки различных генотипов, выращиваемых в условиях среднекислого почвенного фона, позволил выделить наиболее продуктивные генотипы по хозяйственноценным признакам. Например, у генотипа Л-2053-6-10 нз $R_1$ отмечена наибольшая высота растений (99,6 см) и техническая длина, что существенно превышает среднее значение этих показателей (87,97 и 82,2 см соответственно). Напротив, генотип НО-65 нз $R_3$ оказался самым низким, с высотой всего 72,8 см и, соответственно, технической длиной 66,0 см.

Техническая длина стебля льна-долгунца представляет собой ключевой показатель продуктивности, так как от нее напрямую зависит объем получаемого волокна [10]. Анализ используемых в исследованиях форм льна-долгунца показал, что у генотипов, отобранных на кислом фоне, техническая длина стебля была на уровне: С-108 пф – 84,1 см, Импульс пф – 83,0 см, Смолич пф – 83,5 см, Феникс пф – 85,1 см и Лидер пф – 83,0 см. У растений-регенерантов наибольшая техническая длина отмечена у генотипа Л-2053-6-10: 93,4 см у регенеранта $R_1$. В то же время у регенерантов 2 и 3 этого генотипа также была достаточно высокая техническая длина: 83,1–83,9 см (табл. 7). Влажные и теплые условия вегетационного периода способствовали

формированию у растений значительной технической длины.

Компонентом формирования урожая семян льна-долгунца является как количество семенных коробочек на одном растении, так и количество семян в этих коробочках. В исследуемых формах количество коробочек варьировало от 3,9 шт. на одном растении у Л-2053-6-10 нз $R_3$ до 9,8 шт. на одном растении – у Л-2053-6-10 нз $R_1$.

Растения формировали от 5 до 10 семян в одной коробочке. Количество семян на одном растении, полученном от разных генотипов, колебалось от 28,1 шт. у генотипа Л-2053-6-10 нз $R_3$ до 69,7 шт. у НО-65 $R_3$. Среднее значение данного показателя составило 43,9 шт., у регенеранта НО-65 нз $R_3$ превышение по количеству семян составило 58,8 % от среднего показателя. Это можно объяснить специфичностью различных генотипов к способности формировать коробочки и семена. Возможно, одним из родителей у генотипа НО-65 была межеумочная форма, у которой была небольшая высота растения, но повышенное количество семян.

*Таблица 7*

**Характеристика образцов льна-долгунца по продуктивности в 2024 г. (среднее по повторностям)**
**Characteristics of flax samples by productivity in 2024 (average by replicates)**

| Генотип | Кол-во растений в снопе, шт. | Высота растений, см | Техническая длина, см | Кол-во коробочек на растении, шт. | Кол-во семян с растения, шт. | Масса 1000 семян, г |
|---|---|---|---|---|---|---|
| С-108 пф | 38,7 | 89,8 | 84,1 | 6,8 | 46,5 | 5,1 |
| Импульс пф | 39,3 | 89,0 | 83,0 | 4,6 | 33,9 | 3,8 |
| Смолич пф | 44,7 | 88,2 | 83,5 | 5,8 | 37,4 | 4,7 |
| Феникс пф | 44,0 | 91,1 | 85,1 | 5,6 | 31,2 | 4,9 |
| Лидер пф | 37,7 | 88,3 | 83,0 | 7,2 | 47,7 | 5,7 |
| НО-65 нз R3 | 35 | 72,8 | 66,0 | 8,8 | 69,7 | 6,64 |
| Л-2053-5-11 нз $R_1$ | 23 | 86,5 | 82,4 | 7,0 | 48,6 | 3,92 |
| Л-2053-5-11 нз $R_2$ | 28 | 83,85 | 77,05 | 6,3 | 48,5 | 5,15 |
| Л-2053-5-11 нз $R_3$ | 34 | 89,2 | 82,4 | 6,5 | 33,0 | 3,61 |
| Л-2053-6-10 нз $R_1$ | 28 | 99,6 | 93,4 | 9,8 | 67,4 | 6,02 |
| Л-2053-6-10 нз $R_2$ | 77 | 89,45 | 83,9 | 4,8 | 36,0 | 5,7 |
| Л-2053-6-10 нз $R_3$ | 88 | 87,8 | 83,1 | 3,9 | 28,1 | 4,13 |
| Среднее | | 87,97 | 82,2 | 7,7 | 43,9 | 4,9 |
| $НСР_{0,5}$ | | 3,2 | 3,4 | 0,4 | 2,2 | 0,2 |

Что касается показателя «масса 1000 семян», то он закладывается на генетическом уровне и не подвержен влиянию климатических факторов [2]. Семена одних генотипов крупные и округлые, у других же – мелкие и приплюснутые. У исследуемых генотипов наибольшая масса семян была отмечена у НО-65 нз $R_3$ и составляла 6,64 г, что также значительно превышает средний показатель 4,9 г. Это подтверждает гипотезу наличия родителя-межеумка. Несколько ниже, но тоже достаточно высокий показатель массы 1000 семян отмечен у генотипов Л-2053-6-10 нз $R_1$ (6,02 г) и Л-2053-6-10 нз $R_2$ (5,7 г). В то же время у сорта Импульс пф показатель массы 1000 семян был наименьшим (3,8 г).

Таким образом, в результате исследований выявлено, что у генотипа Л-2053-6-10 нз $R_1$ при наибольшей высоте растений была наибольшая техническая длина, количество коробочек и семян на растении, а также достаточно высокая масса 1000 семян. Этот генотип при его устойчивости к антракнозу может быть рекомендован для внедрения в производство с целью получения высоких урожаев волокна и семян. По показателю технической длины для производства волокна в условиях среднекислого почвенного фона может быть рекомендован генотип Феникс пф, а для производства семян – НО-65 нз $R_3$.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одной из значимых экономических культур, востребованных для производства волокна и масла, является лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.). Селекционные методы *in vitro* – эффективный инструмент для создания новых форм с измененными признаками и свойствами. В результате исследований выявлено, что если незрелые зародыши линий льна, полученных из клеток в селективных условиях *in vitro*, помещать вновь на селективную среду и проводить отбор устойчивых клеток, то формируются устойчивые регенеранты, которые проявляют высокую устойчивость лишь *in vitro.* В полевых условиях инфекционно-провокационного фона устойчивость полученных форм снижается. Вероятно, это связано с тем, что в сложившихся благоприятных для проявления заболевания погодных условиях штаммы полевой популяции были более агрессивны и многочисленны, нежели используемые в исследованиях.

Результаты исследований хозяйственно ценных признаков показали, что созданные *in vitro* линии в целом несколько уступают своим исходным формам по продуктивности, однако относительно сорта-стандарта Альфа некоторые характеристики линий оказались выше. В результате исследований выявлено, что у генотипа Л-2053-6-10 нз $R_1$ при наибольшей высоте растений была наибольшая техническая длина, количество коробочек и семян на растении, а также достаточно высокая масса 1000 семян. Этот генотип при его устойчивости к антракнозу может быть рекомендован для внедрения в производство с целью получения высоких урожаев волокна и семян. По показателю технической длины для производства волокна в условиях среднекислого почвенного фона может быть рекомендован генотип Феникс пф, а для производства семян – НО-65 нз $R_3$.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе проведенных исследований были обнаружены различия между штаммами.

2. Выявлено, что на основе незрелых зародышей, на селективном фоне *in vitro* формировались растения с различной степенью устойчивости к антракнозу. Исследования позволили из восприимчивых к патогену генотипов льна создать новые формы – НО-65, НЭ-38, НЭ-36 и НЭ-16, которые проявляли в поколениях более высокую устойчивость к патогену, чем исходные формы. Эти линии в селекционных питомниках не уступали сорту-стандарту Альфа по основным показателям продуктивности волокна, включая высоту растений и вес технической части.

3. Анализ морфологических характеристик растений льна, выращенных в условиях среднекислого фона, продемонстрировал, что генотип НО-65 – потомство регенеранта $R_3$, был самым продуктивным по количеству семян на одном растении и общей массе семян (43,9 шт. и 69,7 г соответственно). У генотипа Л-2053-6-10 нз $R_1$ – потомство регенеранта $R_1$, была зафиксирована максимальная высота растений (99,6 см) и техническая длина стебля (93,4 см), а также самое большое количество коробочек на единицу растения (9,8 шт.).

4. Л-2053-6-10 нз $R_1$ при его устойчивости к антракнозу может быть рекомендован для внедрения в производство с целью получения высоких урожаев волокна и семян. По показателю технической длины для производства волокна в условиях среднекислого почвенного фона может быть рекомендован генотип Феникс пф, а для производства семян – НО-65.

*Финансирование.* Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS-2024-0004.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Straw*, Seed Yield and Quality of Three Linum usitatissimum L. Cultivars in Relation to Nitrogen Fertilizer Rate and Plant Density / E.-S.M. El Gedwy, G.Y.M. Hammam, S.A.H. Allam [et al.] // Asian J. Adv. Agric. Res. – 2020. – Vol. 14, N 4. – P. 8–29. – DOI: 10.9734/ajaar/2020/v14i430137.
2. *Stafecka I., Stramkale V., Grauda D.* The evaluation of disease resistance of flax genotypein rela-tion to environmental factors // Zemdirbyste. – 2019. – Vol. 106, N 4. – P. 367–376. – DOI: 10.13080/z-a.2019.106.047.
3. *Кишлян Н.В., Мельникова Н.В., Рожмина Т.А.* Механизмы адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Т. 181, № 4. – С. 205–212. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212.
4. *Сорта* льна-долгунца отечественной селекции в условиях Томской области / Г.А. Попова, О.И. Полякова, Н.Б. Рогальская [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 8. – С. 36–47. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-8-4.
5. *Гриб С.И., Богдан В.З.* Оптимизация методологии и результаты селекции льна- долгунца в Беларуси // Таврический вестник аграрной науки. – 2023. – № 1 (33). – С. 6–18. – DOI: 10.5281/zenodo.7896477.

6. *Устойчивость* образцов генофонда льна к эдафическому стрессу, вызванному пониженной кислотностью / Т.А. Рожмина, А.А. Жученко, Н.В. Мельникова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21, № 2. – С. 133–140. – DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140.
7. *Extent* and Management of Acid Soils for Sustainable Crop Production System in the Tropical Agroecosystems: A Review / G. Agegnehu, T. Amede, T. Erkossa [et al.] // Acta Agriculturae Scandinavica. – 2021. – Vol. 71. – P. 852–869. – DOI: 10.1080/09064710.2021.1954239.
8. *Кудрявцева Л.П., Пролетова Н.В.* Фитопатологическое тестирование генотипов льна на устойчивость к антракнозу // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 8. – С. 5–13. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-8-1.
9. *Abeje G., Zewodu, A.* Exploring Genetic Variability and Morpho-Agronomic Trait Associations Among Ethiopian Flax (Linum Usitatissimum L.) Accessions for Enhanced Fiber and Seed Yield // Journal of Natural Fibers. – 2024. – Vol. 12, № 2. – P. 19–33. DOI: 10.11648/j.ijbse.20241202.11.
10. *Mańkowska G., Mańkowski J.* The Influence of Selected Habitat and Agronomic Factors on the Yield of Flax (Linum usitatissimum L.) // J. Nat. Fibers. – 2020. – Vol. 19, № 6. – P. 2327–2337. – DOI: 10.1080/15440478.2020.1810843.
11. *Этапы* создания нового сорта льна-долгунца с высокими прядильными свойствами / Е.Г. Герасимова, Л.Н. Павлова, Л.П. Кудрявцева [и др.] // Кормопроизводство. – 2023. – № 9. – С. 11–15. – DOI: 10.25685/KRM.2023.9.2023.010.
12. *Прудников В.А., Степанова Н.В., Фесько Д.Ю.* Влияние органического вещества дерново-подзолистой почвы на урожайность и качество льнопродукции // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 10 (311). – С. 141–148. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-10-14.
13. *Кудрявцева Л.П.* Грибная и бактериальная инфекции семян льна // Аграрная наука. – 2022. – № 5. – С. 82–86. – DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-82-86.
14. *Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А, Козьякова Н.Н.* Конкурентоспособность отечественных сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна при переработке льнотресты в современных условиях производства // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 55–65. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-55-65.
15. *Сравнительная* характеристика среднеспелых сортов льна-долгунца смоленской селекции / Е.А. Трабурова, А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 1 (192). – С. 28–34. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34.
16. *Лебединец В.Н., Волкова Г.В.* Видовой состав болезней льна на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 105. – С. 78–88. – DOI: 10.21515/1999-1703-105-78-88.
17. *Понажев В.П., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А.* Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: метод. указ. – Тверь, 2014. – С. 92–94.
18. *Методические* указания по селекции льна-долгунца (для опытных учреждений, работающих со льном-долгунцом) / Под ред. А.Р. Рогаша, А.Н. Марченкова. – Торжок: ВНИИЛ, 1987. – 64 с.
19. *Методические* указания по селекции льна-долгунца. – М., 2004. – 44 с.
20. *Патент № 2478282* Российской Федерации, RU 2478282 C2, 10.04.2013. Способ получения регенерантов льна-долгунца, устойчивых к антракнозу, методами *in vitro*: № 2011115728/10; заявл. 20.04.2011 / Н.В. Пролётова, Л.П. Кудрявцева, Е.Г. Виноградова. – ГНУ ВНИИЛ Россельхозакадемии. – 4 с.
21. *Пролетова Н.В.* Использование культуральных фильтратов в селекции льна *in vitro* на устойчивость к антракнозу // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1 (53). – С. 92–97. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-92-97.
22. *Основные* проблемы научного обеспечения льноводства / Р.А. Ростовцев, В.Г. Черников, И.В. Ущаповский [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 45–52. – DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
23. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агрон. спец. – М., 1985. – 350 с.

## REFERENCES

1. El Gedwy E.-S.M., Hammam G.Y.M., Allam S.A.H. etc., Straw, Seed Yield and Quality of Three Linum usitatissimum L. Cultivars in Relation to Nitrogen Fertilizer Rate and Plant Density, *Asian J. Adv. Agric. Res*, 2020,Vol. 14, No. 4, pp. 8–29, DOI: 10.9734/ajaar/2020/v14i430137.
2. Stafecka I., Stramkale V., Grauda D., The evaluation of disease resistance of flax genotypein rela-tion to environmental factors, *Zemdir-byste*, 2019, Vol. 106, No. 4, pp. 367–376, DOI: 10.13080/z-a.2019.106.047.
3. Kishlian N.V., Melnikova N.V., Rozhmina T.A., *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2020, Vol. 181, No. 4, pp. 205–212, DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212. (In Russ.)
4. Popova G.A., Polyakova O.I., Rogalskaya N.B. [et al.], *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2024, Vol. 54, No. 8, pp. 36–47, DOI: 10.26898/0370-8799-2024-8-4. (In Russ.)

5. Grib S.I., Bogdan V.Z., *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2023, No. 1 (33), pp. 6–18, DOI: 10.5281/zenodo.7896477. (In Russ.)
6. Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Melnikova N.V. [et al.], *Agrarian Science Euro-Northeast*, 2020, Vol. 21, No. 2, pp. 133–140, DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140. (In Russ.)
7. Agegnehu G., Amede T., Erkossa T. et al., Extent and Management of Acid Soils for Sustainable Crop Production System in the Tropical Agroe-cosystems: A Review, *Acta Agriculturae Scandinavica*, 2021, Vol. 71, pp. 852–869, DOI 10.1080/09064710.2021.1954239.
8. Kudryavtseva L.P., Proletova N.V., *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2024, Vol. 54, No. 8, pp. 5–13, DOI: 10.26898/0370-8799-2024-8-1. (In Russ.)
9. Abeje G., Zewodu A., Exploring Genetic Variability and Morpho-Agronomic Trait Associations Among Ethiopian Flax (Linum Usitatissi-mum L.) Accessions for Enhanced Fiber and Seed Yield, *Journal of Natu-ral Fibers*, 2024, Vol. 12, No. 2, pp 19–33, DOI: 10.11648/j.ijbse.20241202.11.
10. Mańkowska G., Mańkowski J., The Influence of Selected Habitat and Agronomic Factors on the Yield of Flax (Linum usitatissimum L.), *J. Nat. Fibers*, 2020, Vol. 19., No. 6, pp. 2327–2337, DOI: 10.1080/15440478.2020.1810843.
11. Gerasimova E.G., Pavlova L.N., Kudryavtseva L.P. [et al.], *Kormoproizvodstvo*, 2023, No. 9, pp. 11–15, DOI: 10.25685/KRM.2023.9.2023.010. (In Russ.)
12. Prudnikov V.A., Stepanova N.V., Fesko D.Yu., *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2024, Vol. 54, No. 10 (311), pp. 141–148, DOI: 10.26898/0370-8799-2024-10-14. (In Russ.)
13. Kudryavtseva L.P., *Agrarnaya nauka*, 2022, No. 5, pp. 82–86, DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-82-86. (In Russ.)
14. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Kozyakova N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 3 (56), pp. 55–65, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-55-65. (In Russ.)
15. Traburova E.A., Konova A.M., Gavrilova A.Yu. [et al.], *Agrarnyy vestnik Urala*, 2020, No. 1 (192), pp. 28–34, DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34. (In Russ.)
16. Lebedinets V.N., Volkova G.V., *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 105, pp. 78–88, DOI: 10.21515/1999-1703-105-78-88. (In Russ.)
17. Ponazhev V.P., Pavlova L.N., Rozhmina T.A., *Selection and primary seed production of flax* (Selection and primary seed production of flax) Tver, 2014, pp. 92–94.
18. *Guidelines for selection of flax (for experimental institutions working with flax)* (Methodological guidelines for the selection of flax (for experimental institutions working with flax)), Ed. Rogasha A.R., Marchenkova A.N., Torzhok: VNIIL, 1987, 64 p.
19. *Guidelines for the selection of flax* (Methodological guidelines for the breeding of flax), Moscow, 2004, 44 p.
20. *Patent No. 2478282 of the Russian Federation*, RU 2478282 C2, 04/10/2013. Method of obtaining flax seed regenerants resistant to anthracnose by in vitro methods: No. 2011115728/10; application dated 04/20/2011, N.V. Proletova, L.P. Kudryavtseva, E.G. Vinogradova, GNU VNIIL of the Russian Agricultural Academy, 4 p. (In Russ.)
21. Proletova N.V., Vestnik *Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2021, No. 1 (53), pp. 92–97, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-92-97. (In Russ.)
22. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Oschapovsky I.V. [et al.], *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2020, Vol. 14, No. 3, pp. 45–52, DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52. (In Russ.)
23. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow, 1985, 350 p.

**Информация об авторах:**
*В.С. Зотова,* младший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», аспирант
*Н.П. Пролётова,* кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»
*Е.А. Трабурова,* младший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

**Contribution of the authors:**
*V.S. Zotova,* Junior Researcher, Laboratory of Breeding Technologies, Federal Scientific Center of Bast Crops, Postgraduate Student
*N.P. Proletova,* Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, Laboratory of Breeding Technologies, Federal Scientific Center of Bast Crops
*E.A. Traburova,* Junior Researcher, Laboratory of Breeding Technologies, Federal Scientific Center of Bast Crops

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-84-95
УДК 631.527.8:582.886

# ДОСТИЖЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА В СЕЛЕКЦИИ КЛАРКИИ (*CLARKIA* PURSH)

**[1]Е.В. Королева, [1,2]Ю.В. Фотев**

*[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

*[2]Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** coroleva-nsk@yandex.ru

**Для цитирования:** *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Достижения Новосибирского государственного аграрного университета в селекции кларкии (*Clarkia* Pursh) // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 84–95. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-84-95.

**Ключевые слова:** Clarkia, C. purpurea, C. unguiculata, C. amoena, исходный материал, новые сорта, селекция, наследование окраски цветка, хозяйственно-биологические и декоративные признаки.

**Реферат**. *В ФГБОУ ВО Новосибирском ГАУ создан исходный материал для селекции декоративных продолжительно цветущих видов и подвидов кларкии (Clarkia): C. purpurea (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr., C. unguiculata Lindl., C. amoena (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr., C. amoena subsp. lindleyi (Douglas) H. Lewis & M.E. Lewis, включающих 21 образец. Исследования проводились в 2010–2024 гг. в открытом грунте на опытном участке УПХ «Сад Мичуринцев», расположенном в черте г. Новосибирска (55.03° с.ш., 82.99° в.д.) путем внутривидовой гибридизации, инбридинга, индивидуального, индивидуально-семейственного и массового отборов с применением изоляторов и изолированных участков для перекрестноопыляемых видов кларкии. Получено пять новых сортов кларкии с разными сроками цветения, пригодных для клумб разных форм и размеров, рабаток, контейнерного цветоводства, а также для срезки. Это первый отечественный сорт C. purpurea 'Лиловая Фея' и новинки сортов C. unguiculata 'Коралловые Рифы', C. amoena 'Малиновая Чаша', C. amoena subsp. lindleyi: 'Персиковая Чаша', 'Фарфоровая Чаша'. Для развития селекции по культуре кларкии предложены две схемы селекционного процесса с отбором элитных растений в гибридных поколениях $F_2$ и $F_4$. Для впервые окультуренного на юге Западной Сибири вида C. purpurea была разработана схема селекционного процесса с отбором элитных растений в поколении $F_2$ по хозяйственно-биологическим признакам, включая оценку мужского гаметофита in vitro, позволяющую ускорить отбор селекционно-важных генотипов. Данная схема является универсальной также и для других видов кларкии (C. unguiculata и C. amoena, C. amoena subsp. lindleyi). Полный цикл селекционного процесса включает девять лет, десятый год – государственное сортоиспытание. Впервые определен дигенный характер наследования лиловой (фиолетовой) окраски цветка у C. purpurea по типу кумулятивной полимерии (расщепление в поколении $F_2$: 1 : 4 : 6 : 4 : 1, $\chi^2_{факт} = 0,29$, тогда как табличное значение $\chi^2_{табл} = 9,5$, $p < 0,05$). Кораллово-розовая окраска цветка у C. unguiculata 'Коралловые Рифы' наследуется по дигенному типу при комплементарном взаимодействии генов (расщепление 4 : 9 : 3, $\chi^2_{факт} = 0,53 < \chi^2_{табл} = 6,0$, при $p < 0,05$). Малиновая (пурпурно-красная) окраска цветков у C. amoena контролируется взаимодействием доминантных генов $F^E$ и G и наследуется комплементарно (расщепление в $F_2$: 9 : 3 : 3: 1, $\chi^2_{факт} = 2,12 < \chi^2_{табл} = 7,8$, при $p < 0,05$). Установлен промежуточный характер наследования персиково-розовой окраски цветка у C. amoena subsp. lindleyi 'Персиковая Чаша' (расщепление в поколении $F_2$: 1 : 2 : 1, $\chi^2_{факт} = 0,80 < \chi^2_{табл} = 6,0$, $p < 0,05$). Установлено, что у C. amoena subsp. lindleyi белая окраска является рецессивной и наследуется дигенно по типу супрессии (расщепление в поколении $F_2$: 13:3, $\chi^2_{факт} = 0,11 < \chi^2_{табл} = 3,8$, $p < 0,05$). В Новосибирском государственном аграрном университете созданы сорта кларкии: с коротким вегетационным периодом – летнецветущий 'Лиловая Фея' (C. purpurea), наиболее продолжительно цветущий – летне-осенний 'Коралловые Рифы' (C. unguiculata) и 'Фарфоровая Чаша' (C. amoena ssp. lindleyi) – наиболее иммунный к возбудителю Pucciniastrum epilobii Otth.*

# ACHIEVEMENTS OF NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY IN *CLARKIA* (*CLARKIA* PURSH) BREEDING

**[1]E.V. Koroleva, [1,2]Yu.V. Fotev**

*[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

*[2]Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** coroleva-nsk@yandex.ru

**Keywords:** Clarkia, C. purpurea, C. unguiculata, C. amoena, source material, new varieties, breeding, inheritance of flower color, economic, biological and ornamental traits.

**Abstract.** *The Novosibirsk State Agrarian University (NSAU) has created source material for the breeding of ornamental, long-flowering species and subspecies of Clarkia: C. purpurea (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr., C. unguiculata Lindl., C. amoena (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr., C. amoena subsp. lindleyi (Douglas) H. Lewis & M.E. Lewis, including 21 accessions. The studies were conducted in 2010–2024 in open ground on the experimental plot of the UPH "Michurintsev Garden" located within the city of Novosibirsk (55.03° N, 82.99° E) by means of intraspecific hybridization, inbreeding, individual, individual-family and mass selections using isolators and isolated plots for cross-pollinated clarkia species. Five new clarkia varieties with different flowering periods, suitable for flowerbeds of different shapes and sizes, borders, container gardening, and for cutting, were obtained. This is the first domestic variety of C. purpurea "Lilovaya Feya' and new varieties of C. unguiculata 'Korallovyye Rify', C. amoena 'Malinovaya Chasha', C. amoena subsp. lindleyi: 'Persikovaya Chasha', 'Farforovaya Chasha'. To develop breeding of clarkia, two schemes of the selection process with the selection of elite plants in the hybrid generations $F_2$. and $F_4$ have been proposed. For the species C. purpurea, first domesticated in the south of Western Siberia, a scheme of the selection process with the selection of elite plants in the $F_2$ generation according to economic and biological characteristics has been developed, including the assessment of the male gametophyte in vitro, which allows accelerating the selection of breedingly important genotypes. This scheme is also universal for other species of Clarkia (C. unguiculata and C. amoena, C. amoena subsp. lindleyi). The full cycle of the selection process includes 9 years, the 10th year is the state variety testing (SVT). For the first time, the digenic nature of inheritance of the lilac (violet) flower color in C. purpurea was determined by the cumulative polymery type (splitting in the $F_2$ generation: 1: 4: 6: 4: 1, $\chi 2fact. = 0.29$, while the tabular value $\chi 2 = 9.49$, $p < 0.05$). The coral-pink flower color in C. unguiculata 'Korallovyye Rify' is inherited by the digenic type, with complementary interaction of genes (splitting 4: 9: 3, $\chi^2_{fact} = 0.53 < \chi^2_{table} = 6.0$, at $p < 0.05$). An intermediate pattern of inheritance of the peach-pink flower coloration was established in C. amoena subsp. lindleyi 'Farforovaya Chasha' (splitting in the $F_2$ generation: 1: 2: 1, $\chi 2 = 3.25 < \chi^2_{table} = 6.0$, $p < 0.05$ and $\chi^2_{fact} = 1.63 < \chi^2_{table} = 6.0$, $p < 0.05$). It was established that in C. amoena subsp. lindleyi, the white coloration is recessive and is inherited digenically by the suppression type (splitting in the $F_2$ generation: 13:3, $\chi^2_{fact} = 3.25 < \chi^2_{table} = 6.0$, $p < 0.05$). Novosibirsk State Agrarian University has created Clarkia varieties: with a short growing season – the summer-flowering 'Lilac Fairy' (C. purpurea), the longest-flowering summer-autumn 'Korallovyye Rify' (C. unguiculata) and 'Farforovaya Chasha' (C. amoena ssp. lindleyi) – the most immune to the pathogen Pucciniastrum epilobii Otth.*

Для озеленения используют широкий ассортимент декоративных растений. Значительное место в цветочном оформлении отводится красивоцветущим однолетним растениям (летникам), среди которых представители рода *Clarkia* Pursh из семейства Onagraceae Juss. выделяются продолжительным цветением разнообразным габитусом, типом и окраской цветков, используются в парадных партерных композициях и различных цветниках (клумбах, рабатках, миксбордерах, мавританских газонах), оформлении садов и парков, в контейнерном озеленении, в качестве подвесных элементов и сменных модулей в цветниках, а также в любительском и приусадебном цветоводстве, также они хороши для срезки [1–2]. Кроме того, виды кларкии отличаются способностью выдерживать пониженные температуры и заморозки, что дает возможность выращивания в цветниках без рассады – прямым посевом семян в открытый грунт [3].

Род *Clarkia* назван в честь капитана Уильяма Кларка, одного из руководителей экспедиции Льюиса и Кларка 1804–1806 гг., включает 42 самосовместимых вида, 8 секций и 10 подсекций [1, 4–5].

С XVIII в. и по настоящее время в России и других европейских странах в наименовании вида *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr. и его подвидов был широко распространен родовой эпитет – *Godetia* Spach, который упоминается как самостоятельная систематическая единица [6].

Виды кларкии отличаются широким спектром основной окраски цветка от светлой (белой, розовой, персиковой, бледно-фиолетовой) до темной (карминной, красной, оранжевой, пурпурной, фиолетовой) и наличием разнообразной флоральной пигментации на лепестках [7–8].

Окраска цветов обусловлена наличием антоцианов, которые являются основными пигментами покрытосеменных растений [9]. Красно-фиолетовый цвет цветков у *C. unguiculata* Lindl. и пятен у *C. gracilis* (Piper) A. Nelson & J.F. Macbr. обусловлен основными антоцианами: мальвидином, цианидином, пеонидином и дельфинидином [10, 11].

К сожалению, растения рода *Clarkia* в качестве цветочной культуры почти не встречаются

в озеленении городов Сибирского региона, заслуживают они большего распространения и в других регионах страны.

Цель: создать исходный материал декоративных однолетних растений кларкии, отличающихся яркой цветовой гаммой, способных к продолжительному цветению и устойчивых к континентальному климату южной лесостепи Западной Сибири.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований послужил коллекционный генофонд видов и сортов кларкии ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ (НГАУ), включающий 21 образец, относящийся к трем видам, подвиду и трем разным секциям рода *Clarkia*: секц. *Godetia* (Spach) H. Lewis & M.E. Lewis: *C. purpurea* (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr., секц. *Phaeostoma* (Spach) H. Lewis & M.E. Lewis: C. unguiculata Lindl., Секц. *Rhodanthos* (Fischer & C.A. Meyer) P.H. Raven: *C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr., *C. amoena* subsp. *lindleyi* (Douglas) H. Lewis & M.E. Lewis.

Селекционную работу проводили в условиях открытого грунта на опытном участке УПХ «Сад Мичуринцев», расположенном в черте г. Новосибирска (55.03° с.ш., 82.99° в.д.) с 2010–2024 гг. Сортооценку проводили по методике первичного сортоизучения цветочных культур [12] с учетом методических подходов русских и зарубежных ученых [13–23].

Использовали методы внутривидовой гибридизации, инбридинг, методы индивидуального, индивидуально-семейственного и массового отборов с применением изоляторов и изолированных участков для перекрестноопыляемых видов кларкии [24]. Для обработки данных использовали статистические методы на базе программного обеспечения Microsoft Excel 2007, Minitab 14.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В НГАУ в результате создания генофонда (рабочей коллекции) кларкии и комплексного изучения селекционного материала, включающего разные виды и сорта путем внутривидовой гибридизации, инбридинга и отборов в 2010–2024 гг. было получено пять новых сортов кларкии с различной цветовой гаммой и сроками цветения, адаптированных к континентальному климату и универсальных в использовании (рис. 1).



*а* *б* *в* *г* *д*

*Рис. 1.* Новые сорта кларкии селекции НГАУ: *а – C. purpurea* ‘Лиловая Фея’, *б – C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’, *в – Clarkia amoena* ‘Малиновая Чаша’, *г – C. amoena* subsp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’, *д – C. amoena* subsp. *lindleyi* ‘Фарфоровая Чаша’

New varieties of *Clarkia* bred by the Novosibirsk State Agrarian University: *a – C. purpurea* ‘Lilac Fairy’, *b – C. unguiculata* ‘Coral Reefs’, *v – C. amoena* ‘Raspberry Cup’, *g – C. amoena* subsp. *lindleyi* ‘Peach Cup’, *d* – C. *amoena* subsp. *lindley* ‘Porcelain Cup’

Описание впервые окультуренного на юге Западной Сибири образца *Clarkia purpurea* (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr., а также образцов *C. unguiculata, C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi*, выращенных на юге Западной Сибири, по большинству морфологических признаков было сходно с описанием данных видов во флоре Северной Америки [4].

Архитектоника растений кларкии состоит из главного побега первого порядка, который представляет собой стебель с супротивно расположенными листьями, оканчивающийся открытым соцветием – простой кистью и боковых побегов, оканчивающихся соцветием ветвления второго, третьего и последующих порядков, формирующихся из пазушных одиночных почек в узлах нижерасположенного побега.

Одними из важнейших показателей декоративности растений различных видов кларкии являются их морфологические и хозяйственно-биологические признаки: габитус (высота, диаметр, форма), число декоративных побегов (боковых цветоносов), количество цветков в соцветии, сроки и продолжительность цветения (период декоративности), вегетационный период.

Характеристика созданных в НГАУ сортов кларкии представлена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Основные декоративные качества и хозяйственно-биологические признаки новых сортов *Clarkia* селекции ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**The main decorative qualities and economic and biological signs of the new *Clarkia* varieties of breeding in the Novosibirsk State Agrarian University**

| Сорт | Патент, дата приоритета | Высота, см (min–max) | Диаметр, см | Число боковых соцветий | Число цветков на главной кисти | Диаметр цветка, мм | Сроки цветения | Период цветения / период вегетации, сут |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mean ± SE | | | | | |
| ‘Коралловые Рифы’ | 13359 25.11.22 | 85–95 | 35,0 ± 1,5 | 47 ± 1,0 | 34 ± 1,0 | 25,0 ± 2,0 | Ранний, июль–сентябрь | 82 / 125 |
| ‘Лиловая Фея’ | 13350 30.11.21 | 60–70 | 25,0 ± 1,5 | 25 ± 2,6 | 12 ± 2,0 | 31,7 ± 2,1 | Ранний, Июль–август | 60 / 102 |
| ‘Малиновая Чаша’ | 13349 30.11.21 | 30–40 | 28,0 ±3,0 | 16 ±1,7 | 8 ± 0,9 | 65,0 ± 1,0 | Средний-,июль–сентябрь | 66 / 120 |
| ‘Персиковая чаша’ | 13357 25.11.22 | 40–50 | 26,0 ± 2,6 | 14 ± 0,7 | 8 ± 1,0 | 55,0 ± 1,2 | Средний, Июль–сентябрь | 63 / 123 |
| ‘Фарфоровая Чаша’ | 13358 25.11.22 | 35–45 | 27,0 ± 2,3 | 16 ± 2,1 | 9 ± 1,5 | 64,5 ± 1,2 | Среднепоздний, Июль–сентябрь | 56 / 121 |

*Примечание.* Дата выдачи патентов – 08.02.2024.

Из созданных в НГАУ сортов к низкорослым (26–45 см) относятся *C. amoena* ‘Малиновая Чаша’ и *C. amoena subsp. lindleyi* ‘Фарфоровая Чаша’, средние по высоте (46–70 см) – *C. amoena* subsp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’ и *C purpurea* ‘Лиловая Фея’ и высокий (71–95 см) *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’.

Четыре сорта кларкии селекции НГАУ имеют пирамидальный габитус, а *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ – обратноконусовидный. Малым диаметром куста (до 25 см) отличался сорт *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’, средний диаметр (26–35 см) отмечен у сортов *C. amoena*, включая *C. amoena subsp. lindleyi*: ‘Малиновая Чаша’, ‘Персиковая Чаша’, ‘Фарфоровая Чаша’ и *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’.

Сорта *C. amoena* ‘Малиновая Чаша’, ‘Персиковая Чаша’ и ‘Фарфоровая Чаша’ – обильноцветущие со средним числом латеральных декоративных соцветий, сорт *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ средне обильноцветущий с сильной степенью ветвления и сорт *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ максимально обильноцветущий с очень сильной степенью ветвления.

Очень много цветков (21 и более) на главном соцветии формировали растения *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’, много цветков (10–20) было отмечено у растений *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ и средним количеством (6–9) отличались сорта *C. amoena*, включая *C. amoena* ssp. *lindleyi*: ‘Малиновая Чаша’, ‘Персиковая Чаша’, ‘Фарфоровая Чаша’.

Малым диаметром цветка (до 39,0 мм) отличались сорта ‘Лиловая Фея’ и ‘Коралловые Рифы’ и крупные цветки среднего (45–64 мм) и большого диаметра (65,0 мм и более) отличались все сорта вида и подвида *C. amoena.*

Первый отечественный сорт *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ и новый сорт *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ начинают цвести через 42–45 сут

от всходов и относятся к раннецветущим, сорта Малиновая Чаша и Персиковая Чаша среднего срока цветения и начинают цвести через 51–61 сут от всходов, а среднепоздний сорт ‘Фарфоровая Чаша’ зацветает через 62–67 сут от всходов.

Самым длительно цветущим является сорт *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’, остальные сорта промежуточного цветения, продолжительностью 50–65 сут.

Первый отечественный сорт *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ отличался коротким вегетационным периодом и летним феноритмотипом, самым продолжительным вегетационным периодом характеризовался летне-осенний сорт *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’.

Для создания новых сортов кларкии, впервые окультуренного на юге Западной Сибири вида *C. purpurea,* а также других видов *C. unguiculata* и *C. amoena* была разработана следующая схема селекционного процесса (рис. 2).

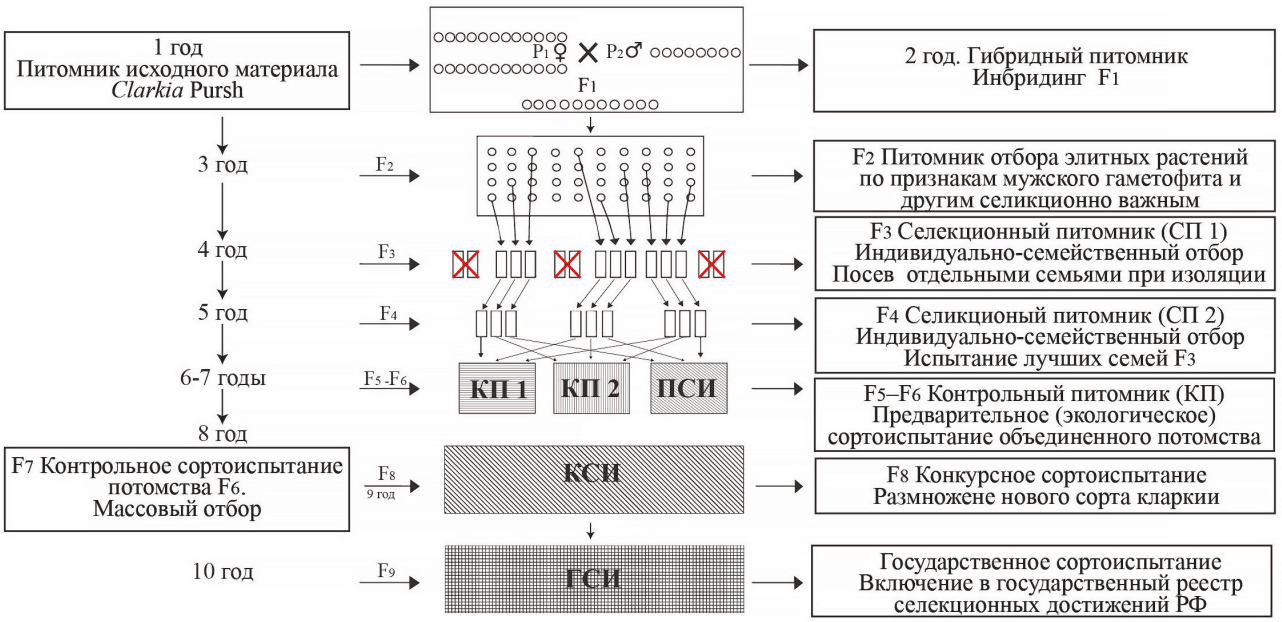



*Рис. 2.* Универсальная схема селекции для создания новых сортов впервые окультуренного на юге Западной Сибири вида *C. purpurea*

A universal breeding scheme for breeding new varieties of the species *C. purpurea*, first cultivated in the south of Western Siberia

Первый год – питомник исходного материала *Clarkia* Pursh; 2-й год – гибридный питомник (инбридинг); 3-й год – питомник отбора элитных растений в поколении $F_2$ по признакам: мужского гаметофита и другим селекционно-важным хозяйственно-биологических признакам [1]. Оценка потомства по признакам мужского гаметофита в последующих поколениях проводится обязательно; 4-й и 5-й годы – закладка селекционных питомников (СП 1 и СП 2) – семена элитных растений $F_2$ высеваются при изоляции на отдельные делянки, проводится индивидуально-семейственный отбор, потомство от лучших номеров семей (10–25) по комплексу селекционно-важных хозяйственно-биологических признаков объединяют и высевают вместе; 6-й и 7-й годы – закладка контрольных питомников (КП 1 и КП 2) для предварительного (экологического) первичного сортоиспытания (ПСИ); 8-й год – контрольное сортоиспытание потомства, массовый отбор при свободном переопылении; 9-й год – конкурсное сортоиспытание (КСИ) в условиях, максимально приближенных к производственным, первичное семеноводство и передача на государственное испытание; 10-й год – государственное сортоиспытание (ГСИ) и включение в государственный реестр селекционных достижений.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При создании сортов кларкии использовалась полная схема селекционного процесса, включающая девять лет, десятый год – ГСИ. Данная схема базируется на традиционной схеме селекции для перекрестных культур [24]. Разработанная для кларкии схема, в отличие от традиционной,

позволяет ускорить отбор ценных генотипов и вести целенаправленную селекцию путем определения жизнеспособности пыльцы *in vitro* у видов и сортов кларкии (патент № RU 2825471 C1, 26.08.2024) [25–26].

Наследование окраски цветков у созданных в НГАУ сортов кларкии представлено в табл. 2.

*Таблица 2*

**Наследование окраски цветков у гибридов $F_1$ и $F_2$ кларкии**
**Inheritance of flower color in $F_1$ and $F_2$ *Clarkia* hybrids**

| Скрещивание | Фенотипический класс гибридов $F_1$ | Объем выборки | Фенотипический класс гибридов $F_2$ | Объем выборки | Ожидаемое расщепление | $\chi^2_{факт}$ | $\chi^2_{табл}$ $p < 0,05$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ | | | | | | | |
| Пурпурно-фиолетовые (п-ф) × бледно-розовые (б-р) | Лиловая (фиолетовая) | 64 | 8 (п-ф)<br>32 (ф)<br>48 (с-ф)<br>30 (б-ф)<br>10 (б-р) | 128 | 1 : 4 : 6 : 4 : 1 | 0,29 | 9,5 |
| *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ | | | | | | | |
| Бледно-розовые (б-р) × коралловые оранжево-розовые (о-р) | Светлые коралловато-розовые (ск-р) | 64 | 14 (о-р)<br>40 (ск-р)<br>10 (б-р) | 64 | 4 : 9 : 3 | 0,53 | 6,0 |
| *C. amoena* ‘Малиновая Чаша’ | | | | | | | |
| 1) Красные (кр) x светло-розовыми с пурпурно-карминовым пятном (с-р+п) | 32 пурпурно-красные (п-кр)<br>32 (с-р+бп) | 64 | 80 (п-кр)<br>24 (кр)<br>20 (с-р+п)<br>4 (б+п) | 128 | 9 : 3 : 3 : 1 | 2,12 | 7,8 |
| *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’ | | | | | | | |
| Светлая персиково-розовая (сп-р) × белой с оранжево-розовыми вкраплениями (б+оп) | 32 светлый персиково-розовый : 32 белый с пятнами, | 64 | 34 (о)<br>68 (п-р)<br>26 (б+оп) | 128 | 1 : 2 : 1 | 0,80 | 6,0 |
| *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Фарфоровая Чаша’ | | | | | | | |
| Белые (б) × белые (б) | Белые | 64 | 106 б : 22 (б+рп) | 128 | 13 : 3 | 0,11 | 3,8 |

*Примечание.* с-р+п – светло-розовые с пурпурно-карминовым пятном, б+п – белые с пурпурно-карминовым пятном, б+оп – белые с оранжево-розовыми пятнами, б+рп – белые с розовыми антоциановыми мелкими пятнами.

Первый отечественный сорт *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ (авторское свидетельство № 85769, автор Е.В. Королева) получен путем принудительного самоопыления гибридов $F_1$ с лиловой (фиолетовой) окраской цветков от отобранных родительских форм дикорастущего вида *C. purpurea* (происхождение Калифорния, США, организация-донор – Grădina Botanică Alexandru Borza a Universităţii Cluj-Napoca, Румыния), полученного в 2011 г. по международной системе обмена семенами Delectus Seminum. В поколении $F_2$ было получено пять фенотипических классов и впервые установлен дигенный контроль признака фиолетовой (лиловой) основной окраски цветка по типу кумулятивной полимерии с расщеплением 1 : 4 : 6 : 4 : 1 ($\chi^2_{факт} = 0,29 < \chi^2_{табл} = 9,5$, при $p < 0,05$) [7].

Наше исследование подтвердило высокую степень изменчивости окраски лепестков венчика у *Clarkia purpurea* и согласуется с выводами G. Hiorth (1941) и L.D. Gottlieb (1989) [18, 21].

Достоинством сорта является узкопирамидальный габитус растения, раннее, дружное и обильное цветение, нежные лиловые цветки с красно-пурпурными пятнами, высокая жизне-

способность пыльцы (в среднем 82 %), а также высокий коэффициент семенной продуктивности (83 %), масса 1000 семян (0,73 г), масса семян с растения (5,5 г). Но сорт оказался наиболее восприимчивым (3,4 балла из пяти) к возбудителю ржавчины *Pucciniastrum epilobii* Otth [27].

Сорт *C. unguiculata* 'Коралловые Рифы' (авторское свидетельство № 88132, автор Е.В. Королева) был получен при отборе форм с кораллово-розовой окраской цветков из сорта 'Пурпурная' ('Purple') (происхождение США), организация-донор – ГК «Гавриш», исходный материал которого был высеян в 2012 г. и проведено принудительное самоопыление гибридов $F_1$ со светлой кораллово-розовой окраской, в поколении $F_2$ было получено три фенотипических класса гибридов с расщеплением, выражаемым как 4 : 9 : 3 – 4 ярких кораллово-розовых : 9 светлых кораллово-розовых и 3 бледно-розовых, (расщепление 4 : 9 : 3, $\chi^2_{факт} = 0,53 < \chi^2_{табл} = 6,0$, при $p < 0,05$). Это может указывать на дигенный характер наследования этого признака по комплементарному типу. Нами были приняты первоначальные обозначения известных генов – B_ и aa, детерминирующие кораллово-розовую (лососево-розовую по Rasmuson, 1920) и бледно-розовую окраски [16].

В потомстве $F_2$ были выделены элитные растения ♀♂ двух линий с нежными яркими кораллово-розовыми (№ RHS: 37A – сильный желтовато-розовый, UPOV Groupp № 26 – умеренный оранжево-розовый ) сильно махровыми цветками и светлыми кораллово-розовыми (№ RHS: 39 C – умеренный желтовато-розовый, UPOV Groupp № 27 – светлый красно-розовый) сильно махровыми цветками. Потомство отобранных линий высевалось отдельно с соблюдением пространственной изоляции, при этом обе линии проявили похожую динамику проявления родительских генотипов с большим процентом кораллово-розовых окрасок разной тональности (85 %). Далее лучшие семьи двух линий были объединены и высевались без изоляции друг от друга с возможностью переопыления. К $F_8$ сортопопуляция достигла стабильного равновесного значения проявления розово-коралловой окраски разной насыщенности и сильно махровых цветков до 98 %.

Достоинства сорта: раннее максимально обильное и длительное цветение, яркие кораллово-розовые цветки разной тональности сильно махровые, похожие на очень маленькие розочки, долгое (15 сут) распускание бутонов в срезке, жизнеспособность пыльцы 61 %, высокий коэффициент семенной продуктивности (74 %), масса 1000 семян (0,34 г), масса семян с растения (4,04 г). Сорт очень резистентный (1,5 балла из пяти) к возбудителю ржавчины *Pucciniastrum epilobii* Otth. [27]. Сорт высокий: необходима опора, возможна прищипка верхушки.

Сорт *C. amoena* 'Малиновая Чаша' (авторское свидетельство № 85793, автор Е.В. Королева, соавтор А.Ф. Петров) был получен путем гибридизации выделенных в 2010 г. из сорта 'Красавица' (созданного при участии автора в ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск, авторское свидетельство № 33756, 31.05.2000) материнских форм растений с красной и темно-розовой окраской цветков, со светлой каймой по основанию и краю лепестка, с гомозиготной отцовской формой сорта 'Розовая' (организация-донор – ГБС РАН) – светло-розовой с карминовым пятном в центре лепестка [3, 8]. В потомстве $F_2$ от принудительного самоопыления гибридов $F_1$ с насыщенной малиновой окраской (гетерозиготы по известным генам: $F^e$ – красная окраска цветка со светлой каймой и G – антоциановая окраска, детерминирующая пятно различного размера по H. Rasmuson и G. Hiorth) в популяции появились растения различной насыщенности малинового (пурпурно-красного), красного, светло-розового и почти белого цвета с центральным пятном, в следующем наблюдаемом соотношении фенотипических классов: 9 малиновых (пурпурно-красных) : 3 красных разной насыщенности : 3 светло-розовых с центральным пятном: 1 почти белый с центральным пятном, что подтвердило нашу гипотезу о комплементарном взаимодействии генов $F^e$ и G, обуславливающих малиновую (пурпурно-красную) окраску (расщепление в $F_2$: 9 : 3 : 3 : 1, $\chi^2_{факт} = 2,12 < \chi^2_{табл} = 7,8$, при $p < 0,05$). В предыдущем исследовании мы рассматривали этот результат как отношение растений с пурпурными и красными цветками к растениям с пятном по типу моногибридного расщепления 3 : 1, что вполне согласуется с результатами, полученными H. Rasmuson (1921) и G. Hiorth (1948) [3, 8]. При создании сорта 'Малиновая Чаша' была применена схема селекции с индивидуальным отбором элитных растений в потомстве $F_4$ [8].

Достоинства сорта: растения низкие пирамидальной формы с яркой малиновой окраской цветков, обильно цветущие, среднего срока цветения средняя жизнеспособность пыльцы (52 %), высокий коэффициент семенной продуктивности (73 %), масса 1000 семян = 0,43 г, масса семян с растения 3,03 г. Сорт резистентный к возбудите-

лю ржавчины *Pucciniastrum epilobii* Otth. (от 2,3 балла из пяти) [27].

Сорт *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’(авторское свидетельство № 87926, автор Е.В. Королева, соавтор А.Ф. Петров) был получен путем принудительного самоопыления растений с персиково-розовой основной окраской цветка и светлой каймой по основанию и краю лепестка отобранных из образца ‘Сибил Шервуд’ (происхождение Великобритания, организация-донор «Семена Алтая» (г. Барнаул). В потомстве $F_2$ появились следующие три фенотипических класса с соотношением фенотипов по основной окраске цветка: 1 оранжево-красный : 2 светлых персиково-розовых и 1 бело-розовый с персиково-розовыми пятнами (нечеткая область пигментации, состоящая из продольных рядов пигментированных клеток, которая вполне схожа с описанием гибридного пятна у *C. gracilis* в опыте L.D. Gottlieb, V.S. Ford, (1988 г.) [20], что соответствовало теоретически ожидаемому расщеплению 1 : 2 : 1 ($\chi^2_{факт} = 0,80 < \chi^2_{табл} = 6,0$, при $p < 0,05$, гипотеза $H_0$ принимается). Наблюдаемое промежуточное наследование персиково-розовой окраски основного фона лепестка может свидетельствовать не только об аддитивном действии генов, но и наличии в потомстве переходных форм со светло-персиково-розовой окраской и светло-персиково-розовыми пятнами на лепестке, вероятно, может контролироваться серией генов-модификаторов при неаллельном взаимодействии генов. Мы предположили, что ген-модификатор «Оо», детерминирующий оранжевую окраску цветка, соединяясь с известным геном Ii, экспрессирующим фоновый пигмент, дают светлую персиково-розовую окраску. Перекрестноопыляемая популяция *C. amoena* ssp. *lindleyi* состояла в основном из гетерозиготных особей. Отбор шел путем элиминирования нежелательных генотипов с оранжево-красной и белой с оранжевыми пятнами окраской цветков и изоляцией потомства от персиково-розовых форм, что привело к постепенному выравниванию популяции и стабильному проявлению персиково-розового родительского фенотипа.

Достоинства сорта: растения средней высоты, пирамидальной формы с персиково-розовой окраской цветков, обильно цветущие, среднего срока цветения, жизнеспособность пыльцы 48 %, коэффициент семенной продуктивности 73 %, масса 1000 семян = 0,44 г, масса семян с растения 3,36 г. Сорт резистентный к возбудителю ржавчины *Pucciniastrum epilobii* Otth. (от 2,5 балла из пяти) [27].

Сорт *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Фарфоровая чаша’ (авторское свидетельство № 87928, автор Е.В. Королева) – получен путем внутривидовой гибридизации образца под названием *Godetia grandiflora* ‘Белёсая’ (смесь окрасок) (происхождение неизвестно, компания-донор «Аэлита»). Исходная популяция состояла из растений с чисто-белой, белой, оранжевой и розовой с небольшими карминовыми пятнами окрасок венчика и различным габитусом растений. При самоопылении растений с белыми цветками все гибриды $F_1$ имели родительский фенотип, что говорило о рецессивности гена белой окраски и не противоречило данным G. Hiorth (1941 г.), который обозначил аллель белой окраски у *C. amoena* как Ww. При скрещивании гибридов $F_1$ с белыми цветками и кремово-розовым основанием лепестка (№ RHS: 155D – желтовато-белый, UPOV Groupp № 1 – белый) в потомстве $F_2$ наблюдались следующие фенотипические классы в соотношении 106 белых : 22 белых с вкраплениями нечетких округлых мелких светло-розовых еле заметных пятен на лепестке, что соответствовало теоретически ожидаемому соотношению 13 : 3 ($\chi^2_{факт} = 0,11 < \chi^2_{табл} = 3,8$, гипотеза $H_0$ принимается). Появление в потомстве $F_2$ фенотипа со слабозаметными пятнами также говорило о возможной работе предполагаемого гена Ii, экспрессирующего антоциановый пигмент по типу эпистаза. В потомстве $F_2$ были отобраны 20 элитных растений, повторивших родительский фенотип с белой окраской лепестка с фарфоровым отливом, кремово-розовым основанием без пятен и компактной формой двух линий: 1 – с прямостоячим главным стеблем; 2 – с полустелющимся главным стеблем. Затем методом семейственно-группового отбора в течение последующих поколений потомства этих линий высевались с пространственной изоляцией друг от друга с возможностью переопыления внутри семей и удалением из популяции нетипичных растений с вкраплениями розового цвета на белых лепестках до распускания цветков. Затем в $F_5$ лучшие семьи двух линий были объединены и высеяны на изолированном участке с возможностью свободного переопыления. К восьмому поколению популяция достигла 98%-го повторения белой окраски цветка с фарфоровым отливом шелковистой структуры.

Достоинства сорта: растения с белыми простыми с фарфоровым отливом цветками, низкие, компактные с прямостоячим или полустелющимся

главным стеблем, преимущественно пирамидальной формы, жизнеспособность пыльцы 48 %, коэффициент семенной продуктивности 72 %, масса 1000 семян = 0,39 г, масса семян с растения 4,05 г. Сорт имунный к возбудителю ржавчины *Pucciniastrum epilobii* Otth. (0–1 балл из пяти) [27].

У всех исследованных видов кларкии с окраской цветков: розовой, красной, малиновой, пурпурной, лиловой, фиолетовой, с пурпурно-фиолетовыми или карминовыми пятнами на лепестках, по нашим наблюдениям, в окраске стебля и листьев присутствует антоциановая окраска или антоциановые вкрапления, которые отсутствуют у растений с белыми цветками, что послужило основанием для апробации сортов кларкии на стадии проростков (Методика RTG/1157/1 испытания сортов на ООС Кларкия) [7].

Полученные нами данные согласуются с результатом американского исследователя F.C. Vasek (1965), отмечавшего, что у проростков *C. unguiculata* с белыми цветами отсутствуют антоцианы [23].

## ВЫВОДЫ

1. Для селекции кларкии предлагаются две схемы селекционного процесса с отбором элитных растений в гибридных поколениях $F_2$ и $F_4$ по хозяйственно-биологическим признакам, включая оценку мужского гаметофита, позволяющую ускорить отбор селекционно-важных высокопродуктивных генотипов.

2. Полный цикл селекционного процесса включает девять лет, десятый год – ГСИ.

3. Методы внутривидовой гибридизации, инбридинга и индивидуального, индивидуально-семейственного и массового отборов позволили создать пять новых сортов кларкии, относящихся к трем разным секциям рода *Clarkia: Godetia* – *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’, *Phaeostoma* – *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ и *Rhodanthos: C. amoena* ‘Малиновая Чаша’, *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’ и ‘Фарфоровая Чаша’.

4. Лиловая (фиолетовая) окраска цветка у *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ контролируется дигенно: $P_1p_1$ – пурпурная окраска и $P_2p_2$ – фиолетовая окраска по типу кумулятивной полимерии (расщепление в $F_2$: 1 : 4 : 6 : 4 : 1, $\chi^2_{факт} = 0,29 < \chi^2_{табл} = 9,5$, при $p < 0,05$).

5. Кораллово-розовая окраска цветка у *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ наследуется по дигенному типу при комплементарном действии генов (расщепление 4 : 9 : 3, $\chi^2_{факт} = 0,53 < \chi^2_{табл} = 6,0$, при $p < 0,05$).

6. Малиновая (пурпурно-красная) окраска цветков контролируется взаимодействием доминантных генов $F^E$ и G, является доминантной как в отношении растений с красными цветками, так и в отношении растений с центральным пятном на лепестке цветков, наследуется комплементарно (расщепление в $F_2$: 9 : 3 : 3: 1, $\chi^2_{факт} = 2,12 < \chi^2_{табл} = 7,8$, при $p < 0,05$).

7. Промежуточное наследование персиково-розовой окраски цветков у *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Персиковая Чаша’ (расщепление 1 : 2 : 1, $\chi^2_{факт} = 0,80 < \chi^2_{табл} = 6,0$, при $p < 0,05$) и наличие в потомстве $F_2$ переходных форм со светло-персиково-розовой окраской и светло-персиково-розовыми пятнами на лепестке, вероятно, может контролироваться при неаллельном взаимодействии предполагаемых генов: Oo – оранжевой окраски и Ii – экспрессирующего антоциановый пигмент.

8. Белая окраска *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Фарфоровая Чаша’ является рецессивной, но при инбридинге гибридов $F_1$ с белыми цветками в поколении $F_2$ появились 2 фенотипических класса: белые цветки и белые с вкраплениями нечетких округлых мелких светло-розовых (антоциановых) пятен на лепестке (расщепление 13 : 3, $\chi^2_{факт} = 0,11 < \chi^2_{табл} = 3,8$, при $p < 0,05$), что характерно для неаллельного взаимодействия генов по типу эпистаза.

9. У исследованных видов кларкии можно проводить апробацию сортов по наличию или отсутствию антоциановых пигментов в окраске стебля и листьев (Методика RTG/1157/1 испытания сортов на ООС Кларкия).

10. Низкие и средней высоты сорта кларкии (*C. amoena* ‘Малиновая Чаша’, ‘Фарфоровая Чаша’, ‘Персиковая Чаша’ и *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’) пригодны для использования в цветниках различной формы и размеров (клумбах, рабатках, миксбордерах), балконном озеленении и контейнерном цветоводстве, а высокий сорт *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ рекомендуется для групповых посадок в парках и скверах, очень хорош для срезки.

11. Среди сортов кларкии, созданных в НГАУ, были выделены сорта: с коротким вегетационным периодом – летнецветущий *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’, с продолжительным периодом цветения – летне-осенний *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ и наиболее иммунный к возбудителю *Pucciniastrum epilobii* Otth. – *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Фарфоровая Чаша’.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Королева Е.В.* Оценка исходного материала кларкии (*Clarkia* Pursh) по селекционно ценным хозяйственно-биологическим признакам в условиях юга Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 46–60. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-46-60.
2. *Кобец А.Т.*, *Королева Е.В.* Проект миксбордера «Ключики весны» для озеленения общественной территории города Новосибирск // Современные проблемы озеленения городской среды: мат-лы X национальной (всерос.) науч.-практ. конф. специалистов, молодых ученых, аспирантов, магистрантов, студентов, Новосибирск, 9–10 апр. 2025 г. – Новосибирск, 2025. – С. 61–65.
3. *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Создание и оценка исходного материала декоративно-цветущих растений *Clarkia* Pursh на юге Западной Сибири // Генофонд и селекция растений: мат-лы 7-й Междунар. конф., посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова, Новосибирск, 10–12 апр. 2024 г. – Новосибирск, 2024. – С. 171–175. – DOI: 10.18699/ GPB2024-44.
4. *Lewis H., Hoch P.C. Clarkia* Pursh // Flora of North America. – URL: http://dev.floranorthamerica.org/*Clarkia* (дата обращения: 10.04.2025).
5. *Wagner W.L., Hoch P.C., Raven P.H.* Revised classification of the Onagraceae // Systematic Botany Monographs. – 2007. – Vol. 83. – P. 1–240.
6. *Королева Е.В.* Разнокачественность семян нового сорта *Clarkia amoena* Малиновая чаша на юге Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2(67). – С. 60–74. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-60-74.
7. *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Интродукция и селекция нового вида кларкии (*C. purpurea*) и разработка методики оценки сортов *Clarkia* Pursh на отличимость, однородность и стабильность // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3(72). – С. 44–64.– DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72- 3-44-64.
8. *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Направления селекции и характер наследования признака «окраски цветка» у кларкии (*Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr)) на юге Западной Сибири // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2024. – № 151. – С. 18–29.
9. *Changes at* a Critical Branchpoint in the Anthocyanin Biosynthetic Pathway Underlie the Blue to Orange Flower Color Transition in Lysimachia arvensis / M. Sánchez-Cabrera, F.J. Jiménez-López, E. Narbona [et al.] // Front. Plant Sci. – 2021. № 12. – P. 633979. DOI: 10.3389/fpls.2021.633979.
10. *Soltis P.S., Soltis D.E., Gottlieb L.D.* Phosphoglucomutase Gene Duplications in *Clarkia* (Onagraceae) and Their Phylogenetic Implications // Evolution. – 1987. – Vol. 41, № 3. – P. 667–671.
11. *Precise* spatio-temporal regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway leads to petal spot formation in *Clarkia gracilis* (Onagraceae) / T.R. Martins, J.J. Berg, S. Blinka [et al.] // New Phytol. – 2013. – Vol. 197(3). – P. 958–969. – DOI: 10.1111/nph.12062.
12. *Методика* первичного сортоизучения цветочных культур / В.И. Болгов, Т.В. Ивсюкова, В.В. Козина, М.А. Пустынников. – М., 1998.– 40 с.
13. *Былов В.Н.* Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. – М., 1978. – С. 7–32.
14. *Дрягина И.В.* Основные задачи и методы селекции цветочных культур // Сборник научных трудов ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур. – 1987. – Вып. 24. – С. 101–110.
15. *Левко Г.Д.* Теоретическое обоснование и практическое использование методов селекции и семеноводства цветочных культур: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 2009. – 59 с.
16. *Rasmuson H.* Die Hauptergebnisse von einigen genetischen Versuchen mit verscheidenen Formen von Tropaeolum, *Clarkia* und *Impatiens* // Hereditas. – 1920. – Vol. I. – P. 270–276.
17. *Rasmuson H.* Beitrage zu einer genetischen Analyse zweier *Godetia* – Arten und ihrer Bastarde // Hereditas. – 1921. – Vol. II. – P. 248–280.
18. *Hiorth G.* Zur Genetik und Systematik der Gattung *Godetia* // Z. Ver–erbungslehre. – 1941. – Vol. 79. – P. 199–219.
19. *Hiorth G.* Über Hemmungs systeme Bei *Godetia whitneyi* // MGG – Molecular and General Genetics. – 1948. – Vol. 82, № 1. – P. 12–63. – DOI: 10.1007/BF00308398.
20. *Gottlieb L., Ford V.* Genetic studies of the pattern of floral pigmentation in *Clarkia gracilis* // Heredity. – 1988. – Vol. 60. – P. 237–246.
21. *Gottlieb L.D.* Floral Pigmentation Patterns in *Clarkia* (Onagraceae) // Madroño: Published By: California Botanical Society. – 1989. – Vol. 36, № 1. – P. 1–8.
22. *Lin R.C., Rausher M.D.* R2R3 MYB genes control petal pigmentation patterning in Clarkia gracilis ssp. sonomensis (Onagraceae) // New Phytol. – 2021. – Vol. 229. – P. 1147–1162. – DOI: 10.1111/nph.16908.
23. *Vasek F.C.* Outcrossing in Natural Populations. II. *Clarkia unguiculata* // Evolution. – 1965. – Vol. 19, No. 2. – P. 152–156. – DOI: 10.2307/2406369.

24. *Гончаров Н.П., Гончаров П.Л.* Методические основы селекции растений / отв. ред. А.И. Моргунов; Рос. акад. наук, Сиб. отд., Ин-т цитологии и генетики. – Новосибирск, 2018. – 439 с.
25. *Способ* определения жизнеспособности пыльцы *in vitro* у видов и сортов *Clarkia* Pursh: пат. № RU 2825471 C1 Российская Федерация, МПК A01H 1/04.: № 2024102029 / Королева Е.В., Фотев Ю.В.; заявл. 28.01.2024; опубл. 26.08.2024; Бюл. № 24. – 8 с.
26. *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Способ определения жизнеспособности пыльцы *in vitro* у видов и сортов кларкии (*Clarkia* Pursh) // BIOAsia Altai 2024: мат-лы IV Междунар. биотехнол. форума, Барнаул, 23–28 сент. 2024 г. – Барнаул, 2024. – С. 312–316.
27. *Королева Е.В., Фотев Ю.В.* Оценка устойчивости коллекционного генофонда видов и сортов *Clarkia* Pursh к ржавчине на юге Западной Сибири // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. IX Всерос. (национ.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 дек. 2024 г. – Новосибирск, 2024. – С. 93–97.

## REFERENCES

1. Koroleva E.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2025, No. 2(75), pp. 46–60, DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-46-60. (In Russ.).
2. Kobec A.T., Koroleva E.V., *Sovremennye problemy ozeleneniya gorodskoy sredy* (Modern problems of urban greening), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2025, pp. 61–65. (In Russ.).
3. Koroleva E.V., Fotev YU.V., *Sovremennye problemy ozeleneniya gorodskoy sredy* (Gene pool and plant breeding), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2024, P. 171–175, DOI: 10.18699/ GPB2024-44. (In Russ.).
4. Lewis H., Hoch P.C., Clarkia Pursh, *Flora of North America*, URL: http: // dev.floranorthamerica.org/Clarkia (data obrashcheniya: 10.04.2025).
5. Wagner W.L., Hoch P.C., Raven P.H., Revised classification of the Onagraceae, *Systematic Botany Monographs*, 2007, Vol. 83, pp. 1–240.
6. Koroleva E.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2(67), pp. 60–74. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-60-74. (In Russ.).
7. Koroleva E.V., Fotev YU.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 3(72), pp 44–64, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72- 3-44-64. (In Russ.).
8. Koroleva E.V., Fotev YU.V., *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2024, No. 151, pp. 18–29. (In Russ.).
9. Sánchez-Cabrera M., Jiménez-López F.J., Narbona E. [et al.], Changes at a Critical Branchpoint in the Anthocyanin Biosynthetic Pathway Underlie the Blue to Orange Flower Color Transition in Lysimachia arvensis, *Front. Plant Sci*, 2021, No. 12, 633979, DOI: 10.3389/fpls.2021.633979.
10. Soltis P.S., Soltis D.E., Gottlieb L.D., Phosphoglucomutase Gene Duplications in *Clarkia* (Onagraceae) and Their Phylogenetic Implications, *Evolution*, 1987, Vol. 41, No. 3, pp. 667–671.
11. Martins T.R., Berg J.J., Blinka S. [et al.], Precise spatio-temporal regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway leads to petal spot formation in *Clarkia gracilis* (Onagraceae), *New Phytol*, 2013, Vol. 197(3), pp. 958–969, DOI: 10.1111/nph.12062.
12. Bolgov V.I., Ivsyukova T.V., Kozina V.V., Pustynnikov M.A., *Metodika pervichnogo sortoizucheniya cvetochnyh kul'tur* (Methodology of primary variety study of flower crops), Moscow, 1998, 40 p. (In Russ.).
13. Bylov V.N., *Introdukciya i selekciya cvetochno-dekorativnyh rastenij*, Moscow, 1978, pp. 7–32. (In Russ.).
14. Dryagina I.V., *Sbornik nauchnykh trudov VNII selektsii i semenovodstva ovoshchnykh kul'tur*, 1987, Vyp. 24, pp. 101–110. (In Russ.).
15. Levko G.D., *Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskoe ispol'zovanie metodov selekcii i semenovodstva cvetochnyh kul'tur* (Theoretical substantiation and practical use of methods of selection and seed production of flower crops), Abstract, Moscow, 2009, 59 p. (In Russ.).
16. Rasmuson H., Die Hauptergebnisse von einigen genetischen Versuchen mit verscheidenen Formen von Tropaeolum, *Clarkia* und *Impatiens*, *Hereditas*, 1920, Vol. I, pp. 270–276.
17. Rasmuson H., Beitrage zu einer genetischen Analyse zweier *Godetia* – Arten und ihrer Bastarde, *Hereditas*, 1921, Vol. II, pp. 248–280.
18. Hiorth G., Zur Genetik und Systematik der Gattung Godetia, *Z. Ver–erbungslehre*, 1941, Vol. 79, pp. 199–219.
19. Hiorth G., Über Hemmungs systeme Bei Godetia whitneyi, *MGG – Molecular and General Genetics*, 1948, Vol. 82, No. 1, pp. 12–63, DOI: 10.1007/BF00308398.
20. Gottlieb L., Ford V., Genetic studies of the pattern of floral pigmentation in Clarkia gracilis, *Heredity*, 1988, Vol. 60, pp. 237–246.
21. Gottlieb L.D., Floral Pigmentation Patterns in Clarkia (Onagraceae), *Madroño: Published By: California Botanical Society*, 1989, Vol. 36, No. 1, pp. 1–8.

22. Lin R.C., Rausher M.D., R2R3 MYB genes control petal pigmentation patterning in Clarkia gracilis ssp. sonomensis (Onagraceae), *New Phytol*., 2021, Vol. 229, pp. 1147–1162, DOI: 10.1111/nph.16908.
23. Vasek F.C., Outcrossing in Natural Populations. II. Clarkia unguiculata, *Evolution*, 1965, Vol. 19, No. 2, pp. 152–56, DOI: 10.2307/2406369.
24. Goncharov N.P., Goncharov P.L., *Metodicheskie osnovy selektsii rasteniy* (Methodological principles of plant breeding), Novosibirsk, 2018, 439 p. (In Russ.).
25. Sposob opredeleniya zhiznesposobnosti pyl'cy in vitro u vidov i sortov Clarkia Pursh: *Pat. № RU 2825471 C1 Rossijskaya Federaciya*, MPK A01H 1/04.: № 2024102029 / Koroleva E.V., Fotev YU.V.; zayavl. 28.01.2024; opubl. 26.08.2024; Byul. No. 24, 8 p. (In Russ.).
26. Koroleva E.V., Fotev YU.V., *BIOAsia Altai 2024*, Proceedings of the Conference Title, Barnaul, 2024, pp. 312–316. (In Russ.).
27. Koroleva E.V., Fotev YU.V., *Rol' agrarnoj nauki v ustojchivom razvitii sel'skih territorij* (The role of agricultural science in sustainable development of rural areas), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2024, pp. 93–97. (In Russ.).

**Информация об авторах:**
*Е.В. Королева,* специалист ландшафтного центра НГАУ
*Ю.В. Фотев,* кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*E.V. Koroleva,* specialist of the landscape center of NSAU
*Yu.V. Fotev,* candidate of biological sciences, senior researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-96-105
УДК 635.928 (571)

# ВЫБОР МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ ДЛЯ ГАЗОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**[1]О.В. Литвинчук, [1]Л.Д. Уразова, [1]А.Б. Сайнакова, [1,2,3,4]Ю.В. Чудинова, [2]А.Ф. Петров**

*[1]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (СибНИИСХиТ), Томск, Россия*

*[2]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

*[3]Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск, Россия*

*[4]Высшая инженерная школа агробиотехнологий НИ ТГУ, Томск, Россия*

**E-mail:** thefinder@mail.ru

**Для цитирования:** *Выбор* многолетних злаков для газонных покрытий в таежной зоне Западной Сибири / О.В. Литвинчук, Л.Д. Уразова, А.Б. Сайнакова, Ю.В. Чудинова, А.Ф. Петров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 96–105. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-96-105.

**Ключевые слова:** газонные злаковые травы, зимостойкость, морфологические признаки, таежная зона.

**Реферат.** *Целью исследования являлось изучение коллекции многолетних злаковых трав (родов мятлик, овсяница, полевица, райграс) в таежной зоне Западной Сибири для определения перечня злаковых трав, пригодных для создания газонных покрытий. В статье представлены результаты изучения коллекционных образцов тринадцати видов газонных трав по общепринятой для Западной Сибири методике. Опыты закладывали в открытом грунте на севере Томской области. Место расположения опытных участков отличалось экстремальными почвенными и климатическими условиями. За четыре года исследований (2015–2018 гг.) разнообразные метеорологические условия позволили оценить коллекционный материал на адаптивность к неблагоприятным факторам среды. Подбор сортимента газонных видов для таежной зоны в первую очередь требует изучения их на зимостойкость и выделения образцов, адаптированных к экстремальным климатическим условиям. Зимостойкость определяли путем подсчета выживших и погибших растений. Для повышения качества газонных покрытий изучали морфологические признаки исходного селекционного материала. Изменчивость морфологических признаков оценивали по особенностям морфологии вегетативных и генеративных побегов исследуемых сортов. Для оценки декоративности травостоя использовали такой признак, как текстура, предложенный К.А. Хасеевой. Выявлено, что по результатам исследований для создания долговечных газонных покрытий в таежной зоне можно рекомендовать мятлики луговой, сибирский, овсяницу красную, допустима также их смесь. Устойчивыми к вытаптыванию и способными быстро восстанавливаться при повреждениях, хорошо и равномерно отрастать после скашивания оказались: один сорт мятлика лугового, два дикорастущих номера мятлика сибирского; по два сорта полевицы белой, полевицы собачьей; полевицы тонкой, два дикорастущих образца полевицы широкометельчатой; один сорт овсяницы овечьей, один дикорастущий образец овсяницы жестколистной, три номера овсяницы красной.*

# SELECTION OF PERENNIAL GRASSES FOR LAWN COVERINGS IN THE TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA

**[1]O.V. Litvinchuk, [1]L.D. Urazova, [1]A.B. Sainakova, [1,2,3,4]Yu.V. Chudinova, [2]A.F. Petrov**

*[1]Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SibNIISKhIT), Tomsk, Russia*

*[2]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

*[3]Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering (TSUACE), Tomsk, Russia*

*[4]Higher Engineering School of Agrobiotechnology of NI TSU, Tomsk, Russia*

**E-mail:** thefinder@mail.ru

**Keywords:** lawn grass species, winter hardiness, morphological traits, taiga zone.

**Abstract.** *The aim of this study was to investigate a collection of perennial grasses (genera Poa, Festuca, Agrostis, Lolium) used for lawns in the taiga region. This article presents results from studying samples of 13 lawn grass varieties using standard methods applicable to Western Siberia. Experiments were conducted outdoors in northern Tomsk Oblast under extreme soil and climatic conditions typical of the area. Over four years of research*

*(2015–2018), diverse meteorological conditions allowed us to assess the adaptability of collected material to adverse environmental factors. Selecting suitable grass species for use in the taiga primarily requires evaluating their winter hardiness and identifying adapted varieties capable of surviving harsh climate extremes. Winter hardiness was determined by counting surviving and dead plants after severe winters. To improve the quality of turf cover, we studied the morphological characteristics of the initial breeding stock. Variation in morphological traits was assessed based on specific features of vegetative and generative shoots in each variety tested. For assessing the aesthetic appearance of turf, we utilized the texture trait proposed by K.A. Khaseeva. Based on our findings, we recommend the following grass species for creating durable lawn covers in the taiga: meadow bluegrass (Poa pratensis), Siberian bluegrass (Poa sibirica), red fescue (Festuca rubra); additionally, mixtures of these three species are acceptable. Species that demonstrated high resistance to trampling and quick recovery after damage, as well as uniform regrowth post-mowing include one cultivar of meadow bluegrass, two wild forms of Siberian bluegrass, two cultivars each of white bentgrass (Agrostis alba) and creeping bentgrass (Agrostis canina), fine-leaved bentgrass (Agrostis tenuis), two wild forms of broad-panicle bentgrass (Agrostis stolonifera), one cultivar of sheep's fescue (Festuca ovina), one wild form of rigid-leafed fescue (Festuca rigida), and three numbers of red fescue (Festuca rubra).*

Из всех известных видов цветковых растений наиболее приспособленными к длительному произрастанию на газонах являются злаковые травы. Имея мочковатую корневую систему, злаки считаются самыми эффективными дернообразователями [1, 2]. Они не боятся контрастов тепла и холода, особенно при заморозках, как весной, так и осенью, выдерживают многократные укосы, могут быстро размножаться вегетативно. Их корни выдерживают сильные морозы и способны формировать плотную дернину, поэтому при правильном уходе газон может использоваться продолжительное время.

Эксплуатационные свойства газона определяются видовым составом трав, используемых при его формировании. Большинство исследователей считают низовые злаки наиболее пригодными для создания газонов, сохраняющих покрытие длительное время, поскольку они обладают плотной упругой дерниной, а также создают ровный однородный прочный покров, устойчивый к отчуждению зеленой массы [3–6].

Среди злаковых трав для создания газонных покрытий в России наиболее распространенными являются мятлик луговой (*Poa pratensis* L., 1753), полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera* L., 1753), овсяница красная (*Festuca rubra* L., 1753), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L., 1753). Могут использоваться другие виды мятлика, полевицы и овсяницы [7–11].

Скорость формирования травостоя (период от посева до смыкания) зависит от видов, включенных в его состав. К быстрорастущим относят райграс, к медленнорастущим – мятлик и овсяницу. Для продления срока использования в состав газонных смесей включают виды с воздушными или подземными побегами, обеспечивающими их вегетативное размножение в случае нарушения целостности покрова.

Наименее долговечным в травостоях считается райграс пастбищный, поскольку в газонных покрытиях он держится всего лишь 3–5 лет [12]. Причиной его низкой зимостойкости считается неглубокое залегание узла кущения (1–1,5 см) [13].

Газоны принято оценивать по цвету и равномерности окраски. Виды и даже сорта могут сильно различаться по этим признакам, так как имеют разную густоту, темпы развития, габитус растений и колер.

Для получения выровненной по оттенкам окраски лужайки предпочтительно использовать одновидовые травосмеси. При использовании многовидовых смесей возникает необходимость подбирать виды и сорта по окраске листьев. Одновидовые посевы считаются более ценными, поскольку все растения одинаковые, и цвет листьев не различается по всему участку. Виды, применяемые в поликомпонентных смесях, отличаются текстурой листовых пластинок и могут заметно отличаться оттенками окраски. В результате наблюдается неровная, иногда пятнистая, структура газонного покрытия [12].

Структуру и качество дернины газона определяют как заложение и развитие корней, корневищ, так и пазушных почек, оснований побегов, неодинаковое у разных видов. Газоны различных типов зависят от климатических и микроклиматических факторов, которые могут привести к вымерзанию травостоя, его выпиранию, а также к выпреванию. В период вегетации большинство мезофитных злаков угнетается при повышении температуры (особенно резком или длительном) и засухе [14]. На состояние растительного покрова оказывает значительное влияние снежный по-

кров. «В суровые зимы при недостатке осадков, а также в случае продолжительной умеренно теплой зимы с высоким уровнем снега в Сибири на участках с сеяными травами (особенно в год посева) могут происходить массовые выпадения растений» [15]. Особенно страдают посевы трав при нарушении агротехники возделывания. Чтобы обеспечить хорошее развитие травостоя, необходимо производить своевременный уход за газоном, применять оптимальные агроприемы и выдерживать сроки проведения работ [16].

В Западной Сибири основным лимитирующим фактором при формировании сеяных травостоев являются неблагоприятные условия перезимовки. Способность переносить без повреждений воздействие низких температур недостаточна для успешной перезимовки растений, так как им необходимо также преодолевать резкие перепады от оттаивания к замерзанию, обезвоживание, длительное промерзание почвы. Зимостойкость многолетних злаковых трав зависит как от разнообразных условий жизни, так и от агротехники их возделывания. Одним из основных факторов зимостойкости является устойчивость к низким температурам [17]. Морозостойкость зависит от многих факторов [18]. В условиях района исследований большее значение имеет устойчивость к выпреванию и возвратным заморозкам весной. Негативно влияет на зимостойкость скашивание, особенно в поздние сроки. На последствия воздействия условий зимнего периода, наряду с агроклиматическими факторами, существенно влияет не только срок, но и высота последнего скашивания. Несвоевременно скошенные травостои после неблагоприятной зимовки сильно поражаются болезнями, в результате чего узлы кущения часто погибают [19].

Важную роль в устойчивости газонов к стрессовым условиям играет состав газонной смеси [8, 20, 21]. Как в любом растительном сообществе, виды оказывают взаимное влияние на жизнедеятельность друг друга, что приводит к изменению структурного состава и качества травостоя. При селекции на повышение качества газонного покрытия, создаваемого на основе мятлика, овсяницы, полевицы, райграса, обычно учитывают ряд морфологических признаков [22].

Цель данной работы – изучение коллекции многолетних злаковых трав (родов мятлик, овсяница, полевица, райграс) в таежной зоне Западной Сибири для определения перечня злаковых трав, пригодных для создания газонных покрытий.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили с 2015 по 2018 гг. в г. Колпашево Томской области Российской Федерации, на полях Нарымского отдела селекции и семеноводства Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук. Место расположения опытных участков (58°11′ с. ш., 83°00′ в. д.) отличалось экстремальными почвенными и климатическими условиями [22].

В задачи исследований входило изучение образцов на зимостойкость, способность быстро и равномерно восстанавливаться после скашивания или повреждения, оценка декоративности травостоя.

Коллекционные питомники были заложены в открытом грунте. Методика полевых опытов – общепринятая для Западной Сибири при возделывании многолетних злаковых трав.

Объект исследований – 64 коллекционных образца трех видов мятлика, пяти видов овсяницы, четырех видов полевицы и одного вида райграса, полученные из ВИРа (табл. 1).

Экстремальные погодные условия позволили за четыре года оценить коллекционный материал на адаптивность к неблагоприятным факторам среды. Метеорологические условия за годы исследований были разнообразными. Зимы 2015–2018 гг. были мягкими с большим количеством снега. Температура почвы на глубине расположения узла кущения была ≥ –5 ºС. Высота снежного покрова на 1 марта была около 70 см, что повышало опасность выпревания посевов. Возобновление вегетации (устойчивый переход среднесуточной температуры через +5 °С) в 2016–2018 гг. отмечено весной 20 апреля – 14 мая, конец вегетации осенью (обратный переход среднесуточной температуры через +5°С) – 14–29 октября. Период активной вегетации продолжался от 160 до 187 дней.

*Таблица 1*

**Страны происхождения образцов коллекционных питомников газонных видов посева 2015 г.**
**Countries of origin of samples of collection nurseries of lawn crops 2015**

| Вид посева | Всего образцов | Россия | Германия | Дания | Латвия | Монголия | Нидерланды | Польша | США | Украина | Финляндия | Франция | Чехословакия | Швеция |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Мятлик** (*Poa sp.*) | 21 | 8 | 2 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| М. альпийский (*P. alpina* L., 1753) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М. луговой (*P. pratensis* L., 1753) | 18 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| М. сибирский (*P. sibirica* Roshev., 1912) | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Овсяница** (*Festuca sp.*) | 12 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| О. жестколистная (*F. sclerophylla* Boiss. EX BISCH., 1849) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| О. красная (*F. rubra* L., 1753) | 7 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| О. нитевидная *(F. filiformis* POURR., 1788) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| О. овечья *(F. ovina* L., 1753) | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| О. шершаволистная (*F. trachyphylla* (HACK.) KRAJINA, 1930) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Полевица** (*Agrostis sp.*) | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| П. побегоносная (*A. stolonifera* L., 1753) | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| П. собачья (*A. canina* L., 1753) | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| П. тонкая (*A. tenuis* Sibth., 1794) | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| П. широкометельчатая (монгольская) (*A. divaricatissima* Mez 1922 = *A. Mongolica* Roshev., 1925 publ. 1926) | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Райграс пастбищный (*Lolium perenne* L., 1753) | 21 | 3 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| Итого: | 64 | 16 | 3 | 10 | 1 | 2 | 9 | 3 | 6 | 3 | 1 | 6 | 3 | 1 |

Зимостойкость определяли согласно «Методике определения густоты травостоя ВИК». Определяли также характер повреждений растений и факторы, влиявшие на их гибель. Для глазомерной оценки использовали общепринятую шкалу.

Изменчивость морфологических признаков оценивали по особенностям морфологии вегетативных и генеративных побегов исследуемых сортов [22].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты изучения коллекционных образцов многолетних злаковых газонных трав представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Характеристика лучших образцов газонных трав из коллекции посева 2015 г.**
**Characteristics of the best lawn grass samples from the 2015 sowing collection**

| Вид и наименование образца | Зимостойкость, балл | Побегообразование, балл | Плотность травостоя, балл | Устойчивость к вытаптыванию, балл |
|---|---|---|---|---|
| **Мятлик** | | | | |
| М. луговой Enseta | 5 | 4 | 5 | 5 |
| М. сибирский Дик. К-14250 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| М. сибирский Дик. К-14252 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| **Овсяница** | | | | |
| О. овечья Waldina | 5 | 5 | 5 | 5 |
| О. жестколистная Дик., К-14274 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| О. красная Banner | 5 | 5 | 5 | 5 |
| О. красная Дик., К-14281 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| О. красная Дик., К-14274 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Полевица** | | | | |
| П. белая Fiorin | 5 | 4 | 5 | 5 |
| П. белая Levocky | 5 | 5 | 4 | 5 |
| П. собачья Barenza | 5 | 4 | 5 | 5 |
| П. собачья Novobent | 5 | 4 | 5 | 5 |
| П. тонкая Prominent | 5 | 5 | 4 | 5 |
| П. тонкая Browntop | 5 | 5 | 5 | 5 |
| П. тонкая К-14268 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| П. широкометельчатая Дик., К-14272 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| П. широкометельчатая Дик., К-14273 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Райграс** | | | | |
| Yuventus | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Primevere | 4 | 4 | 4 | 5 |
| К-14233 | 4 | 5 | 5 | 5 |

Мятлик луговой в год посева развивается медленно и к осени образует много прикорневых листьев, а также укороченных вегетативных побегов. Интенсивный рост наблюдается начиная со следующего, а иногда с третьего года после посева. Покрытие становится достаточно плотным только к третьему-четвертому году жизни, но характеризуется значительной долговечностью. Теневыносливость – средняя.

Овсяница красная достигает максимального развития на второй год после посева, образует упругую плотную дернину, прочную на разрыв, быстро и равномерно отрастает после скашивания и механических повреждений. Может приспоса-

бливаться к разным гидрологическим условиям: выносит как непродолжительное затопление, так и недостаточное увлажнение, но страдает при длительной засухе. Теневыносливость высокая (выдерживает 70 % затенения площади участка).

Полевица в год посева растет и развивается быстро, проявляет устойчивость к сорным видам, интенсивно кустится, как правило, со второго года жизни. Достаточно устойчива к вытаптыванию и хорошо переносит низкое скашивание травостоя. Не рекомендуется для затененных участков и засушливых условий.

Райграс пастбищный отличается быстрыми темпами развития с первого года жизни, всходы его обычно появляются через одну-две недели после посева, газонное покрытие формируется быстро. Является слабозимостойким видом, требователен к почвенной влаге, при недостаточном увлажнении летом нуждается в систематическом поливе. Неустойчив к повышенной кислотности почвы. Плохо переносит затенение.

Основным критерием отбора видов и сортов газонных трав в таежной зоне является их способность переносить зимы с наименьшими потерями. Из изученных образцов полностью сохранялись в травостое виды мятликов, полевиц и овсяниц. Из образцов райграса пастбищного отмечена зимостойкость 5 баллов только у сорта из Дании Yuventus.

При восстановлении покрытия в случае выпадения растений важную роль играет длина корневищ. Максимальным этот показатель был у мятлика сибирского (6,1–6,3 см) и мятлика лугового (4,7–7,7 см), виды и сорта полевицы имели длину корневищ от 4,4 до 5,7 см; райграса пастбищного – 4,5–5,3 см. Максимальная длина корневищ наблюдалась у образцов мятлика лугового Kimono из Нидерландов, К-14286 из Дании, мятлика сибирского К-14250 и К-14252 из Новосибирска. Из полевиц по этому показателю выделились полевица собачья Levocky из Чехии и полевица тонкая Browntop из США. Из образцов райграса пастбищного – сорт Lock из Франции и К-14233 из Польши.

Наименьшая высота растений за 2016–2018 гг. была у следующих образцов: род *Poa* (сорта Yaskia, Limonsine из Германии, Barkenta из Нидерландов); род *Agrostis* (дикорастущие популяции из Монголии *A. divaricatissima* и Украины – *A. tenuis*; *Lolium perenne* (сорта Yuventus из Дании, Fiesta из США, Sport из Польши).

У всех изученных видов газонных трав наблюдалась высокая облиственность (5 баллов). Декоративность (по текстуре листьев) видов полевицы по шкале Хасеевой была 4–6 мм (5–6 баллов), мятлика – 3–5 мм (6–7 баллов), райграса – 2–4 мм (7–8 баллов). Самыми узкими листьями (2 мм) отличался польский образец К-14233, датский сорт Yuventus и французский сорт Primevere.

Устойчивыми к вытаптыванию и способными быстро восстанавливаться при повреждениях, хорошо и равномерно отрастать после скашивания были: сорт мятлика лугового Enseta из Нидерландов и дикорастущие номера мятлика сибирского (К-14250 и К-14252, ЦСБС, Новосибирск); сорта полевицы белой Fiorin (Франция), Levocky, Чехословакия; полевицы собачьей – Barenza и Novobent (Нидерланды); полевицы тонкой – сорта Prominent и К-14268 (Нидерланды), Browntop (США), два дикорастущих образца полевицы широкометельчатой из Монголии К-14272, К-14273; сорт овсяницы овечьей Waldina из Франции, дикорастущий образец овсяницы жестколистной К-14274 из России (Ставропольский край), овсяница красная Banner (США), дикорастущие номера из России К-14281 (Мурманская область), К-14274 (Томская область).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Формирование долговечных и качественных газонных покрытий в таежной зоне Западной Сибири требует тщательного подхода к выбору видов многолетних злаков. Основными факторами, определяющими успешность создания газона, являются морозостойкость, адаптированность к низкому уровню освещенности и способность противостоять экстремальным условиям окружающей среды [14, 15, 21]. Для нашего региона это овсяница красная (*Festuca rubra*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), райграс пастбищный (*Lolium perenne*). Особое внимание уделяется сочетанию нескольких видов злаков для увеличения биоразнообразия и снижению риска массового поражения растений заболеваниями. По данным ряда исследований, смеси из трех-четырех видов обеспечивают наилучшие показатели плотности и декоративности газонного покрытия.

Кроме того, важно отметить, что формирование качественного газона предполагает предварительное проведение мероприятий по улучшению свойств почвы, включая известкование кислых грунтов и внесение органических удобрений. Такие меры способствуют созданию благоприятных условий для роста и развития злаков.

Создание газонных покрытий в сложных природно-климатических условиях возможно лишь

при условии комплексного подхода, включающего правильный подбор сортов и видов злаков, учет особенностей почвенных характеристик и регулярный уход за покрытием.

Зимостойкость же растений зависит от многих факторов [17, 18, 23], главным из которых обычно считается устойчивость к низким температурам. В условиях таежной зоны с высоким снежным покровом (45–90 см) для злаков приобретают значение другие факторы: например, случается, что посевы страдают от выпревания и поражения болезнями после перезимовки. Поэтому зимостойкие образцы могут быть выделены только в результате полевых опытов. Несмотря на то, что райграс пастбищный часто выпадает из травостоя после перезимовки, по результатам проведенных исследований выделен сорт, который может быть использован в селекции на зимостойкость в таежной зоне.

Способность восстанавливаться после различных повреждений является важным качеством злаковых трав для сохранения декоративных качеств газонных покрытий. Использование длины корневищ может служить критерием отбора селекционных образцов. Для оценки декоративности покрытия наряду с облиственностью травостоя можно использовать его текстуру [25–29].

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что для создания красивых и долговечных газонов кроме морфологических признаков видов и сортов злаковых трав необходимо также учитывать их требования к освещенности и почвенным условиям.

## ВЫВОДЫ

1. Для создания долговечных газонных покрытий в таежной зоне можно рекомендовать мятлики луговой и сибирский, овсяницу красную, допустима также их смесь.

2. Райграс пастбищный рекомендуется использовать для ремонта газонов, а также при необходимости создать покрытие за короткое время. При этом следует учитывать короткий срок его возможной эксплуатации. Для долголетнего использования райграс не пригоден из-за слабой зимостойкости. Необходимо также учитывать, что райграс плохо развивается на кислых почвах.

3. Виды полевицы не рекомендуется использовать в смеси с видами других злаков. Моновидовые посевы полевицы следует высевать на хорошо освещенных участках с достаточным увлажнением при потребности быстро сформировать газон.

4. Устойчивыми к вытаптыванию и обладающими способностью быстро и равномерно восстанавливаться после скашивания или повреждения по результатам изучения оказались: сорт мятлика лугового Enseta и дикорастущие образцы мятлика сибирского (К-14250, К-14252); сорта полевицы белой Fiorin, Levocky; полевицы собачьей – Barenza и Novobent; полевицы тонкой – сорта Prominent и К-14268, Browntop, два дикорастущих образца полевицы широкометельчатой (К-14272, К-14273); сорт овсяницы овечьей Waldina, дикорастущий образец овсяницы жестколистной К-14274, сорт овсяницы красной Banner, дикорастущие образцы К-14281, К-14274.

5. Высокая декоративность по критерию «текстура» отмечена у образцов райграса пастбищного Yuventus, Primevere, К-14233.

6. Выделившиеся образцы могут быть использованы в селекции газонных трав для таежной зоны как источники полезных признаков и свойств.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Селезнев М.С.* Биологические основы газонного травосеяния. – М., 1998. – 120 с.
2. *Газоноведение* и озеленение населенных территорий: учеб. пособие для студ. вузов по агрон. спец. / В.А. Тюльдюков, Н.Ф. Лебедев, Н.С. Воронин, Ф.А. Турчин. – М., 2002. – 263 с.
3. *Smith E.T., Brown J.K., Johnson N.S.* Selection of low-growth grasses for residential lawn applications // Landscape Architecture Frontiers. – 2023. – Vol. 11, № 2. – P. 48–56.
4. *Колесникова А.А., Крючкова Е.А.* Перспективные виды и сорта низовых злаков для организации газонов в условиях средней полосы России // Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 12 (1). – С. 45–52.
5. *Lee Y.H., Kim S.Y., Park H.G.* Evaluation of turfgrasses suitable for sustainable green spaces in cold regions // International Journal of Plant Sciences. – 2022. – Vol. 183, Is. 5. – P. 345–352.
6. *Савельева Л.А., Терехова В.А., Романова О.А.* Использование генетической вариабельности овсяницы красной *Festuca rubra* L. для отбора лучших популяций для озеленения крупных городов России // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2022. – № 47 (2). – С. 135–143.

7. *Taylor F.C., Hillman W.O., Miller R.J.* Fine fescues as environmentally friendly options for low maintenance lawns // Turfgrass Management Review. – 2021. – Vol. 25, № 4. – P. 112–119.
8. *Захарова Н.В., Мельничук В.П., Николаева А.С.* Комплексная оценка качества озеленённых территорий с использованием методов дистанционного мониторинга и моделирования распределения газонных покрытий из низовых злаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2021. – № 23 (2). – С. 251–258.
9. *Герасимова М.В., Шустров Д.А., Кузнецова О.В.* Улучшение жизнеспособности и декоративной привлекательности низкорастущих газонных трав путем микоризации // Агрохимия. – 2020. – № 66 (1). – С. 11–18.
10. *Масленников С.С., Белозерцев П.Н., Крылов А.В.* Инновационный подход к проектированию высокоустойчивых газонных покрытий с применением современных технологий селекции низовых злаков // Защита и карантин растений. – 2024. – № 11 (3). – С. 41–48.
11. *Бондаренко Н.А., Степанов А.Ф., Прохорова Н.А.* Партерные газоны для Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (21). – С. 15–21.
12. *Пахолкова Т.Л.* Создание травостоев разных типов, адаптивных для условий Северо-Запада России // Молочнохозяйственный вестник. – 2015. – № 1 (17). – С. 39–47
13. *Биолого-экологические* особенности низовых злаковых трав и их использование при создании газонов / Н.Н. Лазарев, М.А. Гусев, О.В. Кухаренкова, Я.Г. Бутько // Кормопроизводство. – 2020. – № 1. – С. 10–16.
14. *Norton M.R., Malinowski D.P., Volaire F.* Plant drought survival under climate change and strategies to improve perennial grasses // Agronomy for Sustainable Development. – 2016. – Vol. 36, Is. 2. – Art. № 29.
15. *Li P.H., Sakai A.* Plant Cold Hardiness and Freezing Stress Mechanisms and Crop Implications: Academic press. – New York, San Francisco, London. – 1978. Russian edition: Cold resistance of plants. – 1983. Trans. from English. G.N. Zvereva, M.M. Tyurina. – Moscow: Kolos.
16. *Осипова Л.Б., Горшкова Э.Ю.* Оценка перспективности использования многолетних злаковых трав в создании декоративных газонов в таёжной зоне Западной Сибири // Вестник Сибирского федерального университета. Сер. Биология, экология, медицина, педагогика. – 2023. – Т. 16, Вып. 2. – С. 123–131.
17. *Лебедев А.В., Киселев Д.А., Гаврилюк С.Ю.* Методика оценки зимостойкости плодовых деревьев в условиях средней полосы России // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2023. – № 10 (2). – С. 34–41.
18. *Тимофеева О.В., Калашникова Н.А., Панфилова М.И.* Влияние фенотипических признаков и физиологических показателей на зимостойкость древесных пород в лесостепной зоне // Проблемы современной ботаники. – 2022. – № 21 (1). – С. 55–63.
19. *Михайлова Е.В., Тихонова Н.П., Алексеева И.В.* Зимостойкость плодово-ягодных культур в условиях Сибири: факторы, лимитирующие развитие и методы повышения устойчивости // Сибирский сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 12 (3). – С. 87–94.
20. *Сорокин А.С., Подгорбунских Н.Н., Лапшина В.С.* Механизмы и способы повышения зимостойкости сельскохозяйственных культур в неблагоприятных климатических зонах // Сельскохозяйственная биология. – 2024. – № 49 (2). – С. 123–131.
21. *Гранулированное* органоминеральное удобрение: пат. на изобретение RU 2817145 C1 / Мармулев А.Н., Петров А.Ф., Митракова А.Г., Кондратьева Ю.В.; Заявл. 28.01.2024; опубл. 11.04.2024. – Бюл. № 11. – 6 с.
22. *Скворцов В.Л., Смирнова Н.А.* Анализ конкурентоспособности различных видов злаков при формировании газонных покрытий в суровом климате Восточной Сибири // Проблемы освоения лесов Сибири. – 2024. – Вып. 12. – С. 85–92.
23. *Уразова Л.Д., Литвинчук О.В., Чудинова Ю.В.* Изучение дернообразующих злаковых трав в условиях таежной зоны // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 4 (22). – С. 85–90.
24. *Риксен В.С., Коробова Л.Н., Ломова Т.Г.* Влияние севооборота с донником на биологические и физико-химические свойства подсолонцового горизонта солонца мелкого // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 1. – С. 4–9.
25. *Васильева О.К., Красноперов Д.С.* Применение новых сортов овсяницы красной для повышения качества газонных покрытий в условиях умеренного континентального климата // Наука молодых ученых. – 2022. – Вып. 4. – С. 231–238.
26. *Федотов А.И., Ильинская М.О.* Опыт создания высокодекоративных газонных покрытий в регионах с тяжелыми погодными условиями // Труды Московского государственного университета леса. – 2020. – № 1. – С. 55–61.
27. *Гаврилец Т.В.* Возможность применения природного препарата как антистрессанта к гербицидам в посевах сои // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4 (73). – С. 29.
28. *Уразова Л.Д., Литвинчук О.В., Сайнакова А.Б.* Изучение образцов райграса пастбищного (*Lolium perenne* L.) в таежной зоне Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 7 (225). – С. 24–28.

29. *Петрова Я.С., Казакова Н.Т.* Особенности подготовки почвенной среды перед закладкой зеленых насаждений в северотаёжной зоне Западной Сибири // Экологический вестник научных центров Севера России. – 2023. – № 3. – С. 111–118.

## REFERENCES

1. Seleznev M.S., *Biologicheskie osnovy gazonnogo travoseyaniya* (Biological principles of lawn grass seeding), Moscow, 1998, 120 p.
2. Tyul'dyukov V.A., Lebedev N.F., Voronin N.S., Turchin F.A., *Gazonovedenie i ozelenenie naselennykh territoriy* (Lawn science and landscaping of populated areas), Moscow, 448 p.
3. Smith E.T., Brown J.K., Johnson N.S., Selection of low-growth grasses for residential lawn applications, *Landscape Architecture Frontiers*, 2023, Vol. 11, No. 2, pp. 48–56.
4. Kolesnikova A.A., Kryuchkova E.A., *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 12(1), pp. 45–52. (In Russ.)
5. Lee Y.H., Kim S.Y., Park H.G., Evaluation of turfgrasses suitable for sustainable green spaces in cold regions, *International Journal of Plant Sciences*, 2022, Vol. 183, Is. 5, pp. 345–352.
6. Saveleva L.A., Terekhova V.A., Romanova O.A., *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki*, 2022, No. 47 (2), pp. 135–143. (In Russ.)
7. Taylor F.C., Hillman W.O., Miller R.J., Fine fescues as environmentally friendly options for low maintenance lawns, *Turfgrass Management Review*, 2021, Vol. 25, No. 4, pp. 112–119.
8. Zakharova N.V., Mel'nichuk V.P., Nikolaeva A.S., *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2021, No. 23 (2), pp. 251–258. (In Russ.)
9. Gerasimova M.V., Shustrov D.A., Kuznetsova O.V., *Agrokhimiya*, 2020, No. 66 (1), pp. 11–18. (In Russ.)
10. Maslennikov S.S., Belozertsev P.N., Krylov A.V., *Zashchita i karantin rastenii*, 2024, No. 11 (3), pp. 41–48. (In Russ.)
11. Bondarenko N.A., Stepanov A.F., Prokhorova N.A., *Vestnik Omskogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 1 (21), pp. 15–21. (In Russ.)
12. Pakholkova T.L., *Molochno-khozyaistvenny vestnik*, 2015, No. 1 (17), pp. 39–47. (In Russ.)
13. Lazarev N.N., Gusev M.A., Kuharenkova O.V., But'ko Ya.G., *Kormoproizvodstvo*, 2020, No. 1, pp. 10–16. (In Russ.)
14. Norton M.R., Malinowski D.P., Volaire F., Plant drought survival under climate change and strategies to improve perennial grasses, *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, Vol. 36, Is. 2, Art. No. 29.
15. Li P.H., Sakai A., Plant Cold Hardiness and Freezing Stress Mechanisms and Crop Implications: Academic Press, New York, San Francisco, London, 1978, Russkaya versiya: Holodoustoichivost' rastenii, 1983. Per. s angliiskogo. G.N. Zvereva, M.M. Tyurina, Moscow: Kolos.
16. Osipova L.B., Gorshkova E.Yu., *Vestnik Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya, ekologiya, meditsina, pedagogika*, 2023, T. 16, Vyp. 2, pp. 123–131. (In Russ.)
17. Lebedev A.V., Kiselev D.A., Gavril'yuk S.Yu., *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 10 (2), pp. 34–41. (In Russ.)
18. Timofeyeva O.V., Kalashnikova N.A., Panfilova M.I., *Problemy sovremennoi botaniki*, 2022, No. 21 (1), pp. 55–63. (In Russ.)
19. Mikhaylova E.V., Tikhonova N.P., Alekseeva I.V., *Sibirskiy sel'skokhozyaistvennyy zhurnal*, 2021, No. 12 (3), pp. 87–94. (In Russ.)
20. Sorokin A.S., Podgorbunskih N.N., Lapshina V.S., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2024, No. 49 (2), pp. 123–131. (In Russ.)
21. Marmulev A.N., Petrov A.F., Mitrakova A.G., Kondrat'eva Ju.V., Granulirovannoe organo-mineral'noe udobrenije, Patent na izobretenie RU 2817145 C1, 11.04.2024, Zakajka № 2024102027 ot 28.01.2024. (In Russ.)
22. Skvorcov V.L., Smirnova N.A., *Problemy osvoeniya lesov Sibiri*, 2024, Vyp. 12, pp. 85–92. (In Russ.)
23. Urazova L.D., Litvinchuk O.V., Chudinova Yu.V., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, No. 4 (22), pp. 85–90. (In Russ.)
24. Ricksen V.S., Korobova L.N., Lomova T.G., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2024, T. 38, No. 1, pp. 4–9. (In Russ.)
25. Vasilyeva O.K., Krasnoporov D.S., *Nauka molodykh uchenykh*, 2022, Vyp. 4, pp. 231–238. (In Russ.)
26. Fedotov A.I., Ilinskaya M.O., *Trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa*, 2020, No. 1, pp. 55–61. (In Russ.)
27. Gavrilets T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 4 (73), pp. 29. (In Russ.)
28. Urazova L.D., Litvinchuk O.V., Saynakova A.B., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 7 (225), pp. 24–28. (In Russ.)
29. Petrova Ya.S., Kazakova N.T., *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Severa Rossii*, 2023, No. 3, pp. 111–118. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*О.В. Литвинчук,* кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник СибНИИСХиТ – филиала СФНЦА РАН.
*Л.Д. Уразова,* кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник СибНИИСХиТ – филиала СФНЦА РАН.
*А.Б. Сайнакова,* кандидат сельскохозяйственных наук, директор СибНИИСХиТ – филиала СФНЦА РАН.
*Ю.В. Чудинова,* доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры АТППСХП ТСХИ – филиала Новосибирского государственного аграрного университета (Томский СХИ), г.н.с. СибНИИСХиТ – филиала СФНЦА РАН, зав. кафедрой ОТиОС Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), профессор Высшей инженерной школы агробиотехнологий НИ ТГУ (ВИША ТГУ, ПИШ «Агробиотек» ТГУ.
*А.Ф. Петров,* доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор Института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий НГАУ

**Contribution of the authors:**
*O.V. Litvinchuk*, Candidate of Agricultural Sciences, Research Fellow of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences.
*L.D. Urazova,* Candidate of Agricultural Sciences, Research Fellow of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences.
*A.B. Saïnakova,* Candidate of Agricultural Sciences, Director of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences.
*Yu.V. Chudinova,* Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Animal Technology, Plant Production Systems and Engineering (ATPPSHE) at Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TSU CSR), Chief Senior Scientist of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Head of Department of Organization, Technology and Economics of Construction (OTECS) at Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB), Professor at Higher School of Engineering and BioTechnologies of National Research Tomsk State University (VIShA TSU, PISH «AgrobioTech» TSU).
*A.F. Petrov,* Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Soil Science, Director of the Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies at Novosibirsk State Agrarian University (NSAU).

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-106-116
УДК 633.853.52:631.526:631.527

# СЕЛЕКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ СОИ

**Л.М. Лукьянчук, Е.С. Бутовец**
*Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия*
**E-mail:** otdelsoy@mail.ru

**Для цитирования:** *Лукьянчук Л.М., Бутовец Е.С.* Селекционные исследования при создании перспективных сортов сои // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 106–116. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-106-116.

**Ключевые слова:** сорт, соя, урожайность, устойчивость к болезням, адаптация, экологическая пластичность, стабильность.

**Реферат.** *Целью исследований являлась оценка новых перспективных сортов сои по ряду хозяйственно важных признаков, уровню адаптации и их устойчивости к грибным заболеваниям в условиях Приморского края. Работа проводилась с 2021 по 2024 гг. Погодные условия 2021 г. характеризовались продолжительными периодами отсутствия осадков. В 2022–2024 гг. оптимальное сочетание влажности и теплых условий способствовали повышению урожайности культуры. Объекты исследований – 32 перспективных сорта сои селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Большая часть сортов относится к средней группе спелости с периодом вегетации от 111 до 119 дней. Четыре сорта Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1695 и Приморская 1698 показали высокую урожайность, достигнув уровня 31,2–35,3 ц/га. Высокое содержания белка (более 40,0 %) демонстрировали сорта сои – Приморская 1659, Приморская 1675, Приморская 1695, Приморская 1698 и Приморская 1704. Устойчивость к стрессовым условиям выращивания по показателю урожайности проявили генотипы сои Приморская 4 (-16,5), Приморская 1679 (-12,8), Приморская 1682 (-16,3), Приморская 1692 (-15,7), Приморская 1705 (-16,5). Максимальные значения коэффициента адаптивности отмечены у трех сортов: Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1698. Низкой экологической пластичностью обладали 45,4 % генотипов (коэффициент bi <1). Некоторые генотипы проявили устойчивость к стрессовым условиям и болезням в условиях Приморского края. На инфекционном фоне сорта проявили среднюю устойчивость: Приморская 1690 и Приморская 1697 – к пероноспорозу; Приморская 1696 – к церкоспорозу. Перспективные сорта сои характеризуются разнообразными характеристиками, что позволяет выбрать подходящие варианты для конкретных целей и условий выращивания.*

# BREEDING RESEARCH ON THE CREATION OF PROMISING SOYBEAN VARIETIES

**L.M. Lukyanchuk, E.S. Butovets**
*Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki, Ussuriysk, Russia*
**E-mail:** otdelsoy@mail.ru

**Keywords:** variety, soybean, yield, resistance to diseases, adaptation, ecological plasticity, stability.

**Abstract.** *Our research goal was to evaluate new promising soybean varieties for a number of economically important traits, the level of adaptation, and resistance to fungal diseases under the conditions of Primorsky kray. The research was conducted in 2021–2024. The weather conditions of 2021 were characterized by prolonged periods without precipitation. In 2022–2024, the optimal combination of precipitation and high temperatures facilitated an increase in the yield of the crop. Thirty-two promising soybean varieties created at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki were used as the research object. The majority of the varieties were from the group of mid-season maturity with a growing period of 111–119 days. Four varieties Primorskaya 1690, Primorskaya 1693, Primorskaya 1695, and Primorskaya 1698 had high yield ranging from 3.12 t/ha to 3.53 t/ha. A high protein content (>40.0 %) was observed in the following soybean varieties: Primorskaya 1659, Primorskaya 1675, Primorskaya 1695, Primorskaya 1698, and Primorskaya 1704. The following genotypes were considered resistant to the growing conditions based on the parameter of yield: Primorskaya 4 (-16.5), Primorskaya 1679 (-12.8), Primorskaya 1682 (-16.3), Primorskaya 1692 (-15.7), and Primorskaya 1705 (-16.5). The highest coefficient of adaptation was noted in three varieties – Primorskaya 1690,*

*Primorskaya 1693, and Primorskaya 1698. Lower ecological plasticity characterized 45.4% of the genotypes (coefficient bi <1). Some genotypes showed resistance to the stress conditions and diseases under the conditions of Primorsky kray. Varieties demonstrated moderate resistance in the infectious conditions: Primorskaya 1690 and Primorskaya 1697 – to downy mildew, Primorskaya 1696 – to Cercospora leaf blight. Promising soybean varieties have various characteristics. This allows breeders to select different variants that would suit certain goals and growing conditions.*

Значимость сои обусловлена уникальным химическим составом ее семян, которые характеризуются высоким содержанием ценного белково-масличного компонента. В мировой практике соя применяется в трех ключевых направлениях, каждый из которых играет важную роль в экономике и питании: соевое молоко используется как альтернатива коровьему молоку; соевое масло – в пищевой промышленности; соевый шрот и жмых – в птицеводстве и животноводстве [1–3]. Такое многообразие применений делает сою важным стратегическим продуктом, который продолжает активно развиваться и совершенствоваться.

Для успешного развития аграрного сектора необходимо увеличение площади возделывания такой высоковостребованной сельскохозяйственной культуры, как соя. Дальний Восток в целом представляет собой регион, подходящий для выращивания сои, здесь имеются все необходимые природно-климатические факторы для эффективного земледелия. Притом что в пределах Дальневосточного федерального округа соя занимает ведущие позиции среди сельскохозяйственных культур, от общего объема посевных площадей сои в России она составляют примерно 37,4 %. Одной из основных задач развития является выведение сортов сои, способных гарантировать высокие урожаи при ограниченных тепловых ресурсах. Данный вопрос в настоящее время успешно решается учеными-селекционерами научно-исследовательских учреждений региона [4–8]. Генетическое улучшение сортов сои осуществляется благодаря целенаправленной селекции растений, что позволяет сельскохозяйственным производителям выбирать сорта с желаемыми характеристиками [9, 10]. В Приморском крае для выполнения поставленных задач в лаборатории селекции сои ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» активно ведется селекционная работа по сое, в результате которой создаются перспективные сорта с высокими показателями хозяйственно ценных признаков.

Целью данного исследования является оценка новых перспективных сортов сои по набору хозяйственно важных характеристик, а также их уровень адаптации и устойчивости к грибным заболеваниям в условиях Приморского края.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Селекционные исследования по созданию новых перспективных сортов сои проходили в 2021–2024 гг. в лаборатории селекции сои ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», расположенных вблизи г. Уссурийск.

Разнообразные метеорологические условия позволили получить более точные и объективные данные о характеристиках и устойчивости сортов сои. По данным агрометеорологической станции «Тимирязевский» (ФГБУ «Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), в 2021 г. повышенные температуры и недостаток осадков в течение длительного периода негативно сказались на формировании урожая. Сумма осадков с июня по сентябрь оказалась значительно ниже средних многолетних значений: разница составила от 2,3 до 54,7 мм. Положительное воздействие оптимального сочетания влажности и теплых условий в 2022 и 2024 гг. способствовали повышению урожайности культуры. В отдельные периоды 2022 г. (с июня по сентябрь) количество выпавших осадков превысило средние многолетние показатели от 24,7 до 101,0 мм. Климатические условия в период с июня по август 2023 г. отмечались значительным превышением количества осадков над среднемноголетними показателями. Кроме того, среднемесячная температура воздуха во время вегетационного периода сои превышала среднемноголетние значения на 1,4–2,3 °С. В условиях 2024 г. присутствовали периоды избыточного увлажнения с мая по июль (превышение составляло 31,7–62,9 мм за месяц), а также повышенный температурный режим в сравнении со среднемноголетней нормой (на 0,2–1,9 °С).

Объектами исследований были 32 сорта сои, выведенные специалистами ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Сорта сои созданы классическим методом селекции – простая парная гибридизация. Для сравнения результатов был использован сорт

сои Приморская 4, который районирован и допущен к использованию в дальневосточном регионе.

Опыт проводился по методике полевого испытания Б.А. Доспехова [11]. Норма высева семян – 500 тыс. шт./га. Площадь одной делянки – 22,0 м$^2$, повторность трехкратная. Работы по посеву и уборке делянок выполнялись механизированно. Оценку, учеты по хозяйственным признакам выполняли по методике ВИР [12]. Содержание белка и масла в семенах сои измерялось на приборе Inframatic 9200 в лаборатории агрохимического анализа научного центра.

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью метода дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel. Этот метод позволяет оценивать различия между группами данных и определять статистическую значимость различий [11]. Методика выявления стрессоустойчивости, компенсаторной способности и гибкости сортов по урожайности, предложенная A.A. Rossielle и J. Hemblin, была адаптирована и изложена А.А. Гончаренко. Она позволяет оценить способность сорта реагировать на различные условия окружающей среды и сохранять высокую продуктивность [13, 14]. Стрессоустойчивость к условиям произрастания определяли по разнице между величинами признака ($X_{min} - X_{max}$), показатели имеют отрицательный знак. Генетическую гибкость и компенсаторную способность сорта в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях, рассчитывали по формуле ($X_{min} + X_{max}$)/2. Генотипическую изменчивость характеризовал размах варьирования минимальной ($X_{min}$) и максимальной величины урожайности ($X_{max}$). Оценку экологической пластичности и стабильности по урожайности сортов проводили по методу S.A. Eberhart и W.A. Russell в изложении В.З. Пакудина [15].

Коэффициент адаптивности (КА) считается важным показателем, который используют для оценки приспособленности сорта к определенным условиям выращивания. Метод расчета КА, предложенный Л.А. Животковым и др., основан на сравнении урожайности конкретного сорта с усредненной урожайностью всех исследуемых образцов в конкретном году испытания [16]. Этот подход позволяет проводить сравнительный анализ сортов и выявлять генотипы с наибольшей адаптационной способностью, что особенно важно для селекции растений и планирования сельскохозяйственных работ.

Визуальную оценку и учет пораженности листовой пластины грибными болезнями, такими как септориоз, пероноспороз и церкоспороз, проводили на естественном и искусственных фонах развития патогенов, в фазу развития сои «налив бобов» [17].

Для выделения и поддержания в культуре патогенов, накопления достаточного количества инфицированного материала и создания искусственного инфекционного фона применяли методику [17], согласно которой необходимо использовать местные популяции патогенов, для выделения которых проводился сбор пораженного растительного материала сои на полях научного центра, а также суспензии с концентрацией спор, дающие оптимальную инфекционную нагрузку на соевое растение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Соя в своем развитии проходит 12 основных этапов. На основании предоставленных данных можно сделать выводы относительно фенологических этапов развития культуры. Все тестируемые образцы показали равномерное и дружное прорастание, что свидетельствует о хорошем качестве семян и однородности посевного материала (табл. 1). Некоторые сорта сои демонстрировали более раннее массовое цветение по сравнению со стандартом Приморская 4 (до десяти дней), при этом наступление более раннего созревания не наблюдалось.

*Таблица 1*

**Характеристика межфазных периодов гибридных комбинаций образцов сои (среднее за 2021–2024 гг.)**
**Characteristics of interphase periods of hybrid combinations of soybean samples (average for 2021–2024)**

| Гибридная комбинация | Продолжительность межфазного периода, сут | | |
|---|---|---|---|
| | Посев–всходы | Всходы–цветение | Цветение–созревание |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Приморская 4, стандарт | 19–20 | 38–48 | 67–77 |
| Приморская 1385 × Приморская 96 | 18–20 | 36–41 | 77–78 |
| Приморская 13 × Приморская 1385 | 19–20 | 35–40 | 72–79 |

*Окончание табл. 1*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Приморская 96 × Тайфун | 18–19 | 33–36 | 74–76 |
| Приморская 96 × НИИСХ 4 | 19–20 | 35–43 | 76–79 |
| Приморская 13 × Кофу | 17–19 | 35–41 | 71–75 |
| Кофу × Ариса | 18–19 | 30–39 | 75–82 |
| Ариса × Приморская 1385 | 18–19 | 40–42 | 76–79 |
| Ариса × Тайфун | 18–20 | 28–43 | 74–82 |
| Ариса × Киото | 18–19 | 28–33 | 77–85 |
| Тайфун × Кофу | 18–20 | 30–38 | 77–86 |
| НИИСХ 3 × Тайфун | 18–19 | 33–41 | 73–83 |
| НИИСХ 3 × Приморская 13 | 18–19 | 35–43 | 73–80 |

Основная масса сортов (90,6 %) относится к средней группе спелости с периодом вегетации от 111 до 119 дней (табл. 2). Большая часть сортов имеет среднюю высоту растений (от 51 до 75 см). Более 80,0 % сортов демонстрировали относительно высокую урожайность по сравнению со стандартом Приморская 4, превышение составляло от 3,8 до 10,2 ц/га. Максимальные показатели урожайности отмечены у сортов Приморская 1690 и Приморская 1693, которые превосходили стандарт на 43,0 и 48,3 % соответственно.

*Таблица 2*

**Характеристика хозяйственных признаков сортов сои (среднее значение за 2021–2024 гг.), Приморский край**
**Characteristics of economic traits of soybean varieties (average value for 2021–2024), Primorsky Krai**

| Сорт | Урожайность, ц/га | Масса 1000 семян, г | Период вегетации, дни | Высота растений, см | Содержание в семенах, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | белка | масла |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Приморская 4, ст. | 23,8 | 165 | 114 | 74 | 38,2 | 23,2 |
| Приморская 1657 | 26,3 | 173 | 119 | 77 | 39,1 | 23,6 |
| Приморская 1659 | 25,6 | 197 | 114 | 66 | 40,6 | 22,7 |
| Приморская 1674 | 23,1 | 148 | 111 | 61 | 36,9 | 24,4 |
| Приморская 1675 | 30,5 | 168 | 112 | 62 | 40,8 | 23,2 |
| Приморская 1676 | 28,9 | 175 | 112 | 58 | 39,5 | 23,8 |
| Приморская 1679 | 20,6 | 154 | 117 | 56 | 36,9 | 23,9 |
| Приморская 1680 | 27,6 | 168 | 119 | 64 | 38,5 | 23,2 |
| Приморская 1681 | 23,7 | 166 | 116 | 55 | 38,4 | 23,7 |
| Приморская 1682 | 24,9 | 182 | 116 | 53 | 38,6 | 23,2 |
| Приморская 1683 | 26,3 | 182 | 115 | 64 | 39,8 | 22,7 |
| Приморская 1684 | 26,7 | 180 | 115 | 62 | 39,1 | 22,9 |
| Приморская 1685 | 27,0 | 150 | 117 | 64 | 37,5 | 24,1 |
| Приморская 1686 | 26,6 | 160 | 117 | 58 | 37,5 | 23,8 |
| Приморская 1687 | 27,5 | 168 | 115 | 56 | 38,0 | 24,0 |
| Приморская 1688 | 27,3 | 159 | 114 | 44 | 38,7 | 23,8 |
| Приморская 1689 | 29,1 | 153 | 121 | 54 | 36,8 | 24,1 |
| Приморская 1690 | 34,0 | 163 | 120 | 66 | 36,4 | 24,4 |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Приморская 1691 | 27,9 | 184 | 116 | 57 | 40,7 | 22,8 |
| Приморская 1692 | 23,7 | 180 | 113 | 53 | 39,8 | 23,1 |
| Приморская 1693 | 35,3 | 170 | 120 | 52 | 38,9 | 23,6 |
| Приморская 1694 | 30,4 | 165 | 118 | 57 | 39,5 | 23,4 |
| Приморская 1695 | 31,2 | 158 | 116 | 66 | 40,2 | 23,3 |
| Приморская 1696 | 29,1 | 165 | 115 | 51 | 39,4 | 23,0 |
| Приморская 1697 | 30,7 | 171 | 116 | 46 | 39,3 | 23,6 |
| Приморская 1698 | 32,9 | 182 | 118 | 60 | 40,2 | 23,0 |
| Приморская 1699 | 30,2 | 166 | 114 | 48 | 40,0 | 23,2 |
| Приморская 1700 | 29,4 | 163 | 113 | 45 | 39,2 | 24,0 |
| Приморская 1701 | 26,6 | 154 | 114 | 58 | 39,4 | 23,5 |
| Приморская 1702 | 24,7 | 176 | 115 | 67 | 39,9 | 23,0 |
| Приморская 1703 | 29,3 | 169 | 116 | 69 | 39,8 | 23,1 |
| Приморская 1704 | 25,8 | 166 | 114 | 54 | 40,2 | 23,5 |
| Приморская 1705 | 21,8 | 154 | 113 | 60 | 39,0 | 23,2 |
| $НСР_{0,05}$ | 3,2 | 20,1 | 4,0 | 12,6 | 1,5 | 0,9 |

*Примечание*. НСР – наименьшая существенная разность.

Значение «масса 1000 семян» выше стандарта до 11,5 % имели 57,6 % сортов сои. Крупным размером семени характеризовался только один сорт – Приморская 1659 (показатель в среднем за годы испытания был более 190 г).

Данный набор сортов сои по уровню накопления питательных веществ в семенах в большей степени обладали относительно повышенным содержанием масла (более 23,0 %). Почти 79,0 % генотипов превосходили уровень стандарта (на 0,2–2,6 %) по содержанию белка в семенах. Особенно выделяются пять сортов: Приморская 1659, Приморская 1675, Приморская 1695, Приморская 1698 и Приморская 1703, которые демонстрируют максимальное содержание белка – выше 40,0 %.

Урожайность любого сорта сельскохозяйственных культур, включая сою, определяется двумя основными факторами: генетическим потенциалом самого растения и условиями внешней среды, такими как климат, почва, влажность и прочие природные явления. Именно взаимодействие этих двух аспектов определяет итоговую производительность конкретного сорта.

Приморский край известен своими специфическими климатическими особенностями, которые включают значительные колебания температуры воздуха, повышенную влажность и ряд других метеорологических параметров. Поэтому крайне важно изучать адаптивные способности различных сортов сои именно в условиях этого региона (табл. 3).

Результаты исследования показывают, что среди рассматриваемого набора сортов сои наибольшей устойчивостью к стрессовым условиям произрастания обладают пять генотипов, включая стандарт: Приморская 4 (-16,5), Приморская 1679 (-12,8), Приморская 1682 (-16,3), Приморская 1692 (-15,7), Приморская 1705 (-16,5).

*Таблица 3*

**Параметры адаптации сортов сои по урожайности**
**Adaptation parameters of soybean varieties for yield**

| Сорт | Стрессо-устойчивость | Генетическая гибкость | Генотипическая изменчивость | Коэф. регрессии $b_1$ | Стабильность ($S^2d_i$) | Коэф. адаптивности |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Приморская 4, ст. | -16,5 | 23,3 | 15,1–31,6 | 0,65 | 15,9 | 86,5 |
| Приморская 1657 | -19,4 | 26,5 | 16,8–36,2 | 0,93 | 1,33 | 95,6 |

*Окончание табл. 3*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Приморская 1659 | -20,5 | 23,9 | 13,7–34,2 | 0,72 | 41,22 | 93,0 |
| Приморская 1674 | -17,6 | 27,3 | 14,9–32,5 | 0,87 | 1,92 | 84,0 |
| Приморская 1675 | -24,7 | 28,3 | 16,0–40,7 | 0,95 | 38,2 | 110,9 |
| Приморская 1676 | -25,6 | 28,6 | 15,8–41,4 | 1,04 | 20,43 | 105,0 |
| Приморская 1679 | -12,8 | 20,7 | 14,3–27,1 | 0,74 | 4,62 | 74,9 |
| Приморская 1680 | -19,4 | 27,5 | 17,8–37,2 | 1,11 | 8,56 | 100,3 |
| Приморская 1681 | -17,2 | 24,2 | 15,6–32,8 | 0,95 | 5,15 | 86,1 |
| Приморская 1682 | -16,3 | 23,1 | 15,0–31,3 | 0,79 | 5,10 | 90,5 |
| Приморская 1683 | -20,4 | 24,7 | 14,5–34,9 | 0,38 | 90,69 | 95,6 |
| Приморская 1684 | -21,7 | 25,6 | 14,8–36,5 | 0,81 | 29,16 | 97,0 |
| Приморская 1685 | -17,8 | 27,2 | 18,3–36,1 | 0,98 | 4,70 | 98,1 |
| Приморская 1686 | -21,3 | 26,7 | 16,1–37,4 | 1,05 | 0,77 | 96,7 |
| Приморская 1687 | -23,0 | 27,2 | 15,7–38,7 | 1,07 | 2,18 | 100,0 |
| Приморская 1688 | -22,7 | 27,6 | 16,3–39,0 | 1,07 | 2,83 | 99,2 |
| Приморская 1689 | -22,9 | 28,3 | 16,9–39,8 | 1,20 | 22,66 | 105,8 |
| Приморская 1690 | -29,3 | 33,8 | 19,2–48,5 | 1,46 | 47,21 | 123,6 |
| Приморская 1691 | -19,6 | 25,3 | 15,5–35,1 | 0,79 | 25,81 | 101,4 |
| Приморская 1692 | -15,7 | 21,5 | 13,7–29,4 | 0,57 | 27,36 | 86,1 |
| Приморская 1693 | -25,9 | 35,9 | 23,0–48,9 | 1,42 | 26,73 | 128,3 |
| Приморская 1694 | -23,3 | 29,7 | 18,1–41,4 | 1,13 | 0,51 | 110,5 |
| Приморская 1695 | -21,6 | 30,8 | 20,0–41,6 | 1,13 | 1,04 | 113,4 |
| Приморская 1696 | -26,6 | 30,3 | 17,0–43,6 | 1,09 | 63,77 | 105,8 |
| Приморская 1697 | -20,0 | 30,8 | 20,8–40,8 | 1,03 | 11,22 | 111,6 |
| Приморская 1698 | -28,2 | 31,7 | 17,6–45,8 | 1,19 | 19,08 | 119,6 |
| Приморская 1699 | -22,8 | 30,8 | 19,4–42,2 | 1,22 | 5,69 | 109,8 |
| Приморская 1700 | -31,0 | 30,3 | 14,8–45,8 | 1,48 | 35,32 | 106,9 |
| Приморская 1701 | -23,5 | 27,9 | 16,2–39,7 | 1,22 | 8,74 | 96,7 |
| Приморская 1702 | -20,3 | 24,1 | 14,0–34,3 | 0,79 | 19,03 | 89,8 |
| Приморская 1703 | -22,4 | 29,4 | 18,2–40,6 | 1,25 | 15,05 | 106,5 |
| Приморская 1704 | -23,0 | 26,6 | 15,1–38,1 | 1,14 | 16,07 | 93,8 |
| Приморская 1705 | -16,5 | 22,1 | 13,9–30,4 | 0,82 | 1,14 | 79,2 |

Восемь сортов сои обладают одновременно максимальной генотипической изменчивостью и генетической гибкостью (от 30,3 до 35,9 ед.): Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1695, Приморская 1696, Приморская 1697, Приморская 1698, Приморская 1699 и Приморская 1700. Это проявляется в широком диапазоне реакции на стрессовые условия.

Адаптивность сортов к условиям произрастания также выявляют по пластичности и стабильности показателя. По итогам оценки перспективных сортов сои на реакцию смены условий испытания было выделено 43,7 % генотипов с низкой экологической пластичностью ($b_i < 1$), они лучше всего проявляли себя в неблагоприятных условиях, демонстрируя стабильность и надежность результатов.

Шесть тестируемых сортов были чувствительны к изменению условий среды ($b_i = 1$), при этом не обладали стабильностью. Остальные генотипы продемонстрировали себя как пластичные ($b_i > 1$) с нестабильным поведением ($S^2d_i$ от 0,51 до 47,21 ед.).

Диапазон значений коэффициента адаптивности (от 74,9 до 128,3 %) показывает, насколько различны реакции сортов сои на условия выращивания. Коэффициент помогает оценить способность сорта адаптироваться к конкретным условиям и обеспечить максимальную урожайность. Коэффициент адаптивности (более > 100,0 %) имели 45,4 % изучаемых сортов сои, что свидетельствует о хорошей способности адаптироваться к различным условиям выращивания. Особого внимания заслуживают три сорта: Приморская 1690, Приморская 1693 и Приморская 1698, которые демонстрировали максимальные значения коэффициента адаптивности. Кроме уровня адаптивности сорта необходимо учитывать и другие важные признаки: устойчивость к болезням, вредителям, а также экономические и технологические аспекты производства.

При исследовании сортов сои было проведено тестирование на иммунитет к грибным заболеваниям на естественном и искусственных фонах развития патогенов. Для наглядности построен график степени поражения сортов сои возбудителем *Septoria glycines* Hemmi при естественных и искусственных условиях развития возбудителя (рис. 1). Для этих целей использован селекционный материал, превысивший стандарт Приморская 4 по урожайности на 20,0 %. Все изучаемые сорта на естественном фоне развития болезни септориоз проявили себя как среднеустойчивые (степень поражения варьировала от 26,9 до 38,9 %).

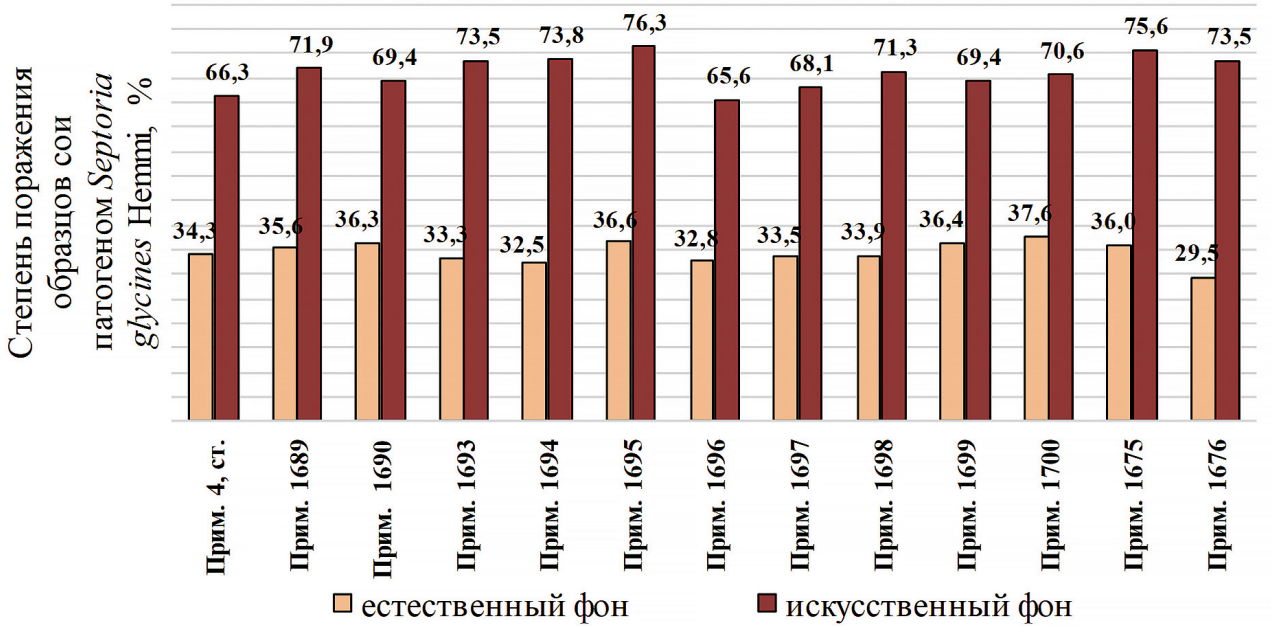



*Рис. 1*. Степень поражения сортов сои патогеном *Septoria glycines* Hemmi, % (среднее за 2021–2024 гг.)
The degree of damage to soybean varieties by the pathogen Septoria glycines Hemmi, % (average for 2021–2024)

Результаты искусственного инфицирования показывают, что урожайные образцы сои оказались восприимчивыми к данному патогену, но степень поражения находилась на уровне стандарта или не превышала 10 %.

Согласно шкале, разработанной по методике Н.И. Корсакова, все перспективные сорта сои в естественных условиях развития фитопатогена *Peronospora manshurica* Naum. (пероноспороз) проявили устойчивость и высокую устойчивость к заболеванию (рис. 2). Реакция сортов сои на искусственное заражение данным возбудителем была практически одинаковой: наблюдалась восприимчивость растений к заболеванию, степень поражения в сравнении с естественным фоном была выше до 65,8 %. Сорта Приморская 1690 и Приморская 1697 проявили среднюю устойчивость при инокуляции растений суспензией пероноспороза, их степень поражения составляла 50,0 и 49,5 %.

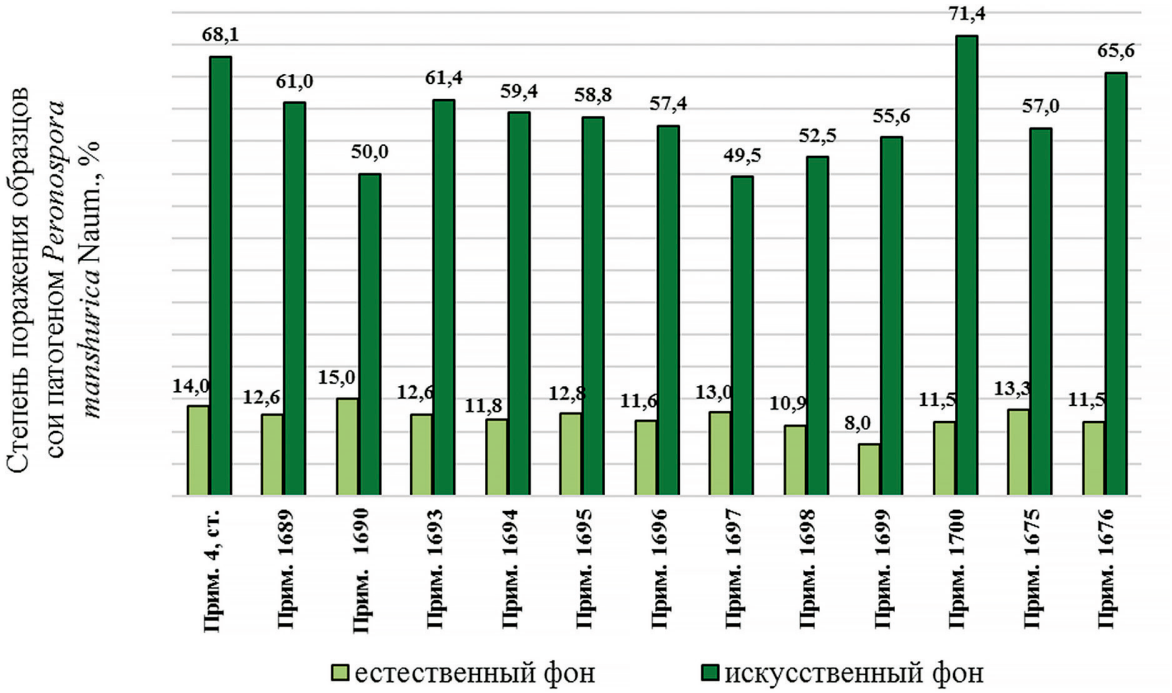



*Рис. 2.* Степень поражения сортов сои патогеном *Peronospora manshurica* Naum., % (среднее за 2021–2024 гг.)
The degree of damage to soybean varieties by the pathogen Peronospora manshurica Naum., % (average for 2021–2024)

Сорта сои по отношению к возбудителю *Cercospora sojina* Hara, развитие которого проходило в естественных условиях, отнесены к группе устойчивых. Степень поражения не превышала 25,0 % (рис. 3).

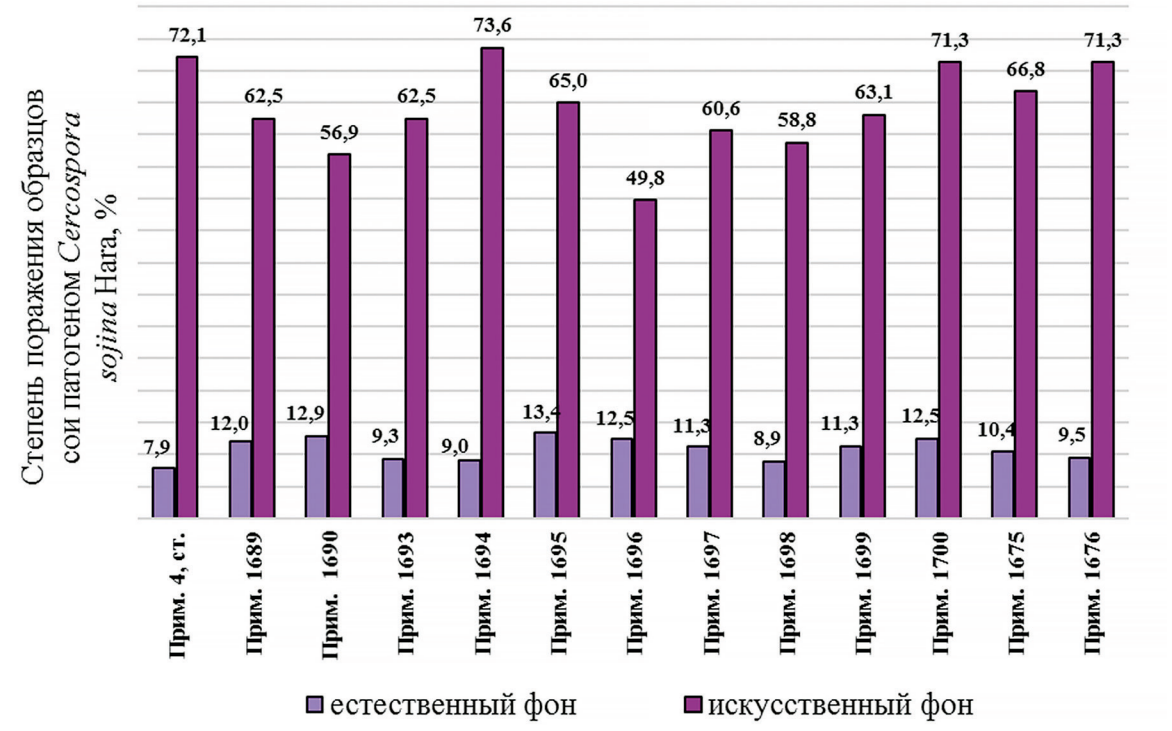



*Рис. 3.* Степень поражения сортов сои патогеном *Cercospora sojina* Hara, % (среднее за 2021–2024 гг.)
The degree of damage to soybean varieties by the pathogen Cercospora sojina Hara, % (average for 2021–2024)

Результаты проверки на жестком инфекционном фоне подтвердили, что практически все сорта сои оказались восприимчивыми к инфекции. Восприимчивость выражается степенью поражения, которая варьирует от 54,3 до 73,6 %. Только сорт Приморская 1696 показал среднюю устойчивость со степенью поражения 49,8 %.

Все испытываемые сорта сои проявили комплексную устойчивость к пероноспорозу и церкоспорозу на естественном фоне развития заболеваний.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из ключевых моментов активного развития соеводства в различных регионах является создание сортов, способных обеспечить высокий уровень урожайности культуры при разнообразных природно-климатических условиях. В Приморском крае в результате селекционной работы по сое создан ряд перспективных сортов с высокими показателями хозяйственно ценных признаков.

Внутри каждой гибридной комбинации изучаемых сортов наблюдались различия в сроках наступления массовых цветений и уборочной спелости, что указывает на генетическое разнообразие среди образцов сои. Основная часть сортов сои относится к средней группе спелости, что в некоторой степени позиционирует их универсальность при возделывании в различных регионах с умеренным климатом. В сравнении со стандартом Приморская 4 более 80,0 % сортов демонстрировали относительно высокую урожайность, что свидетельствует о потенциальных возможностях новых генотипов. В процессе анализа выделившиеся сорта сои по уровню накопления питательных веществ в семенах (белка и масла) представляют интерес как источники для включения в селекционную программу. По результатам изучения один сорт сои передан на испытание в ФГБУ «Госсорткомиссия».

Перспективными для дальнейшего использования в селекционной программе и внедрения в регионы с непредсказуемыми климатическими условиями являются пять сортов сои (стандарт Приморская 4, Приморская 1679, Приморская 1682, Приморская 1692, Приморская 1705), которые обладают наибольшей устойчивостью к стрессовым факторам произрастания. Данные генотипы в меньшей степени снижают уровень урожайности в стрессовых условиях. Восемь сортов сои (Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1695, Приморская 1696, Приморская 1697, Приморская 1698, Приморская 1699 и Приморская 1700) демонстрировали значительную изменчивость в урожайности в зависимости от окружающих условий, что может быть как преимуществом, так и недостатком. Шесть сортов были чувствительны к контрастам условий среды ($b_i = 1$): они могут показать хорошие результаты как в благоприятных, так и в неблагоприятных условиях. Отсутствие стабильности указывает на то, что их поведение сложно прогнозировать. Остальная часть генотипов проявляла высокий потенциал урожайности при улучшении условий выращивания и зависела от условий года, что, в свою очередь, создает сложность в предсказании их поведения.

Высокий коэффициент адаптивности у 45,4 % изучаемых сортов сои указывает на значительный генетический потенциал образцов, способность формировать высокую урожайность в различных климатических и почвенных условиях.

Присутствует устойчивость сортов сои к грибным заболеваниям на естественном фоне развития патогенов и их восприимчивость к патогенам при искусственном инфицировании растений.

## ВЫВОДЫ

Выделившиеся сорта сои представляют значительный интерес для сельского хозяйства, так как обладают уникальными характеристиками, которые могут быть полезными в различных условиях выращивания:

– сорт Приморская 1674 отличается более ранним сроком созревания (111 дней);

– высокий уровень урожайности (31,2–35,3 ц/ га) формируют сорта Приморская 1690, Приморская 1693;

– высокий уровень содержания белка в семенах (более 40,0 %) демонстрируют сорта сои Приморская 1659, Приморская 1675, Приморская 1695, Приморская 1698 и Приморская 1704;

– пять генотипов сои, включая стандарт, проявляют устойчивость к стрессовым условиям выращивания по показателю урожайности: Приморская 4 (-16,5), Приморская 1679 (-12,8), Приморская 1682 (-16,3), Приморская 1692 (-15,7), Приморская 1705 (-16,5);

– максимальные значения коэффициента адаптивности отмечаются у трех сортов: Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1698;

– по результатам проверки на инфекционном фоне сорта Приморская 1690 и Приморская 1697 обладают средней устойчивостью к пероноспорозу, сорт Приморская 1696 проявляет среднюю устойчивость к церкоспорозу.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Экологическое* сортоиспытание сои в Республике Татарстан / К.Д. Шурхаева, Т.Н. Абросимова, А.Т. Хуснутдинова, Л.Н. Шаяхметова, А.Р. Хайруллина // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 4 (12). – С. 43–51. – DOI: 10.12737/2782-490X-2024-43-51.
2. *Галиченко А.П., Фокина Е.М.* Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои селекции ВНИИ сои // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 7 (222). – С. 16–25. – DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25.
3. *Галиченко А.П., Фокина Е.М.* Оценка влияния гидротермических условий на содержание белка и масла в семенах скороспелых сортов сои // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 2 (42). – С. 12–19. – DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_12.
4. *Зайцев Н.И., Ревенко В.Ю., Устарханова Э.Г.* Влияние погодных факторов на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения // Масличные культуры: науч.-техн. Бюл. ВНИИМК. – 2020. – № 2 (182). – С. 62–69. – DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69.
5. *Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М.* Адаптационные показатели перспективных сортов сои в условиях юга Дальнего Востока // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2024. – Т. 185, № 4. – С. 47–58. – DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58.
6. *Fokina E., Belyaeva G.* Features of the New Mid-season Soybean Variety Zolushka // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems. – 2022. – № 353. – P. 105–112. – DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_13.
7. *Бражников В.Н., Бражникова О.Ф., Бражников Д.В.* Влияние агроклиматических условий на продуктивность и жирнокислотный состав масла льна масличного // Таврический вестник аграрной науки. – 2019. – № 4 (20). – С. 6–15. – DOI: 10.33952/2545-0720-2019-4-20-6-15.
8. *Identification* of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes / M. Li, Y. Liu, C. Wang [et al.] // Frontiers in plant science. – 2020. – № 10. – P. 1642. – DOI: 10.3389/fpls.2019.01642.
9. *Клычова Г.С., Цыпин А.П., Валиев А.Р.* Перспективы развития рынка сои и его значимость для российской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 3 (63). – С. 128–134. – DOI: 10.12737/2073-0462-2021-128-134.
10. *Красовская А.В., Степанов А.Ф., Веремей Т.М.* Влияние агрометеорологических факторов на формирование урожая и качество зерна сортов сои // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2022. – № 8 (185). – С. 51–58. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-51-58.
11. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агрон. спец. – М., 2012. – 352 с.
12. *Соя:* метод. указ. по селекции и семеноводству / сост. Н.И. Корсаков, Ю.П. Мякушко. – Л., 1975. – 160 с.
13. *Гончаренко А.А.* Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 6. – С. 9–53.
14. *Уровень* качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, В.С. Васюкевич [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2 (55). – С. 84–96.
15. *Пакудин В.З.* Оценка экологической пластичности сортов // Генетический анализ количественных признаков с помощью математико-статистических методов. – М., 1979. – С. 40–44.
16. *Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И.* Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по урожайности // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
17. *Методические* указания по изучению устойчивости сои к грибным болезням / сост. Н.И. Корсаков, А.М. Овчинникова, В.М. Мизева. – Л., 1979. – 46 с.


## REFERENCES


1. Shurhaeva K.D., Abrosimova T.N., Husnutdinova A.T., Shayahmetova L.N., Hajrullina A.R., *Agrobiotekhnologii i cifrovoe zemledelie*, 2024, No. 4 (12), pp. 43–51, DOI: 10.12737/2782-490X-2024-43-51. (In Russ.)
2. Galichenko A.P., Fokina E.M., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2022, No. 7(222), pp. 16–25, DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25. (In Russ.)
3. Galichenko A.P., Fokina E.M., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2023, No. 2 (42), pp. 12–19, DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_12. (In Russ.)
4. Zajcev N.I., Revenko V.Yu., Ustarhanova E.G., *Maslichnye kul'tury: nauch.-tekhn. Byul. VNIIMK*, 2020, No. 2 (182), pp. 62–69, DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69. (In Russ.)

5. Butovec E.S., Lukyanchuk L.M., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2024, T. 185, No. 4, pp. 47–58, DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58. (In Russ.)
6. Fokina E., Belyaeva G., Features of the New Mid-season Soybean Variety Zolushka, *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*, 2022, No. 353, pp. 105–112, DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_13.
7. Brazhnikov V.N., Brazhnikova O.F., Brazhnikov D.V., *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2019, No. 4 (20), pp. 6–15, DOI: 10.33952/2545-0720-2019-4-20-6-15. (In Russ.)
8. Li M., Liu Y., Wang C. et al., Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes, *Frontiers in plant science*, 2020, No. 10, pp. 1642, DOI: 10.3389/fpls.2019.01642.
9. Klychova G.S., Cypin A.P., Valiev A.R., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, T. 16, No. 3 (63), pp. 128–134, DOI: 10.12737/2073-0462-2021-128-134. (In Russ.)
10. Krasovskaya A.V., Stepanov A.F., Veremej T.M., *Vestnik KrasGAU*, 2022, No. 8 (185), pp. 51–58, DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-51-58. (In Russ.)
11. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii)* (Methodology of field experiments (with the basics of statistical processing of research data)), Moscow, 2012, 352 p.
12. Korsakov N.I., Myakushko YU.P. (eds), *Soybean: guidelines on breeding and seed production.* (Soybeans: guidelines for selection and seed production), Leningrad, 1975, 160 c.
13. Goncharenko A.A., *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk*, 2005, No. 6, pp. 49–53. (In Russ.)
14. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasyukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 2, pp. 84–96. (In Russ.)
15. Pakudin V.Z., *Genetic analysis of quantitative traits using mathematical and statistical methods*, Moscow, 1979, pp. 40–44. (In Russ.)
16. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Selekciya i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–6. (In Russ.)
17. Korsakov N.I., Ovchinnikova A.M., Mizeva V.M. (Eds.), *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti soi k gribnym boleznyam* (Methodology for studying soybean resistance to fungal disease), Leningrad, 1979, 46 p.

**Информация об авторах:**
*Л.М. Лукьянчук,* научный сотрудник
*Е.С. Бутовец,* кандидат сельскохозяйственных наук

**Contribution of the authors:**
*L.M. Lukyanchuk,* research fellow
*E.S. Butovets,* Candidate of Psychological Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-117-126
УДК 631.111.1

# СЕЛЕКЦИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

**Л.Т. Мальцева, Е.А. Филиппова, Н.Ю. Банникова, А.Г. Ефимова, О.В. Пушкарева**

*Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия*

**E-mail:** elena-filippova-kniich@mail.ru

**Для цитирования:** *Селекция* озимой пшеницы в условиях Зауралья / Л.Т. Мальцева, Е.А. Филиппова, Н.Ю. Банникова, А.Г. Ефимова, О.В. Пушкарева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 117–126. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-117-126.

**Ключевые слова**: озимая пшеница, сорт, конкурсное сортоиспытание, зимостойкость, урожайность, структура урожая, качество зерна, болезни.

**Реферат.** *Анализ погодных условий за последние годы показывает, что биоклиматический потенциал для озимых хлебов становится более благоприятным. За годы конкурсного сортоиспытания (1985–2024 гг.) урожайность озимой пшеницы составила в среднем 3,15 т/га, с колебаниями по годам от 0,57 до 6,31 т/га. Прибавка к яровой составила 0,43 т/га. Материалом исследования служили сорта и линии конкурсного сортоиспытания озимой мягкой пшеницы селекции Курганского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в сравнении со стандартом Омская озимая. Наблюдения и оценки проведены в соответствии с методикой государственного сортоиспытания. Качество зерна и муки оценены соответственно ГОСТам в технологической лаборатории. Целью исследований явилось изучение, оценка и выделение селекционных линий озимой мягкой пшеницы по комплексу хозяйственно-биологических признаков, при которых стабильно сохраняется уровень урожайности. Выявлен основной фактор снижения урожайности: весенне-летняя засуха (r = 0,6–0,7). Наличие в опыте лет с экстремальными условиями послужило провокационным фоном для полевых оценок. В итоге выделены линии, адаптированные к местным условиям, с достоверной прибавкой урожайности (0,84–1,15 т/га): Умка 40, Л-88-79-38, Л-88-79-40, Compliment/Фора-2, Л-КП-134-30; с крупным зерном (44,0–46,5 г) Умка 40, Л-Изаура-58, Л-88-71-13, Compliment/Фора- 4. По биохимическим свойствам соответствующие 1–2-му классам линии: Умка, Умка 40, Л-88-71-22, Compliment/Фора-5, Л-65309/1, Л-88-79-40, Л-88-79-83, Л-88-79-84. По хлебопекарным свойствам: Умка-40, Л-88-71-13, Л-88-71-22, Умка, Compliment/Фора-5, Л-88-79-38, Л-88-79-83, Л-КП-134-30, Л-134-37, с показателями объема хлеба в среднем за три года от 913 до 978 г/мл, хлебопекарной оценкой 3,6–3,8 балла. За два года изучения мучнистой росой (Blumeria graminis) в меньшей степени (5 %) поражались линии: Л-88-79-35, Л-88-79-38, Л-88-79-40, Л-КП-134-30, Compliment/Фора-2, Compliment/Фора-4, Compliment/Фора-5, Л-СПГ-120-7. Менее восприимчивые к склеротиниозу (Sclerotinia sclerotiorum): Л-88-79-40, Л-88-79-83, Compliment/Фора-2, Compliment/Фора-4 (10–10,6 %). Устойчивые к бурой ржавчине: Умка-40, Проза-4, Л-Изаура-64, Л-386, Донской простор/Изаура, Донской простор/Башкирская 10, Айвина/Умка, Л-С-1, Л-С-2, Л-С-3, Л-С-12.*

# BREEDING OF WINTER WHEAT FOR THE CONDITIONS OF THE TRANS-URALS

**L.T. Maltseva, E.A. Filippova, N.Y. Bannikova, A.G. Yefimova, O.V. Pushkareva**

*Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*

**E-mail:** elena-filippova-kniich@mail.ru

**Keywords**: winter wheat, variety, competitive variety testing, winter hardiness, yield, crop structure, grain quality, diseases.

**Abstract**. *An analysis of weather conditions in recent years shows that the bioclimatic potential for winter breads is becoming more favorable. During the years of competitive variety testing (1985–2024), the yield of winter wheat averaged 3.15 t/ha, with annual fluctuations from 0.57 to 6.31 t/ha. The increase to the spring crop was 0.43 t/ha. The research material was the varieties of the competitive winter wheat variety testing of the Kurgan SRIA - branch of FSBSI UrFASRC, UrB of RAS in comparison with the Omsk winter wheat standard. The observations and assessments were carried out in accordance with the Methodology of the state variety testing. The quality of grain and flour is evaluated according to GOST standards in the technological laboratory. The purpose of the*

*research was to study, evaluate and isolate breeding lines of winter soft wheat according to a set of economic and biological characteristics, in which the yield level is consistently maintained. The main factor of yield reduction was identified: spring-summer drought (r = 0.6-0.7). The experience of years with extreme conditions served as a provocative background for field assessments. As a result, lines adapted to local conditions with a significant increase in yield (0.84–1.15 t/ha) were identified: Umka 40, L-88-79-38, L-88-79-40, Compliment/ Fora-2, L-KP-134-30; with coarse grain (44.0–46.5 g) Umka 40, L-Izaura-58, L-88-71-13, Compliment/Fora-4. According to biochemical properties corresponding to class 1–2: Umka, Umka 40, L-88-71-22, Compliment/Fora-5, L-65309/1, L-88-79-40, L-88-79-83, L-88-79-84. By baking properties: Umka-40, L-88-71-13, L-88-71-22, Umka, Compliment/Fora-5, L-88-79-38, L-88-79-83, L-KP-134-30, L-134-37, with bread volume values averaging 913 to 978 g/ml over 3 years, with a baking score of 3.6–3.8 points. During the two years of study, powdery mildew (Blumeria graminis) affected the lines to a lesser extent (5 %): L-88-79-35, L-88-79-38, L-88-79-40, L-KP-134-30, Compliment/Fora-2, Compliment/Fora-4, Compliment/Fora-5, L-CPG-120-7. Less susceptible to sclerotiniosis (Sclerotinia sclerotiorum): L-88-79-40, L-88-79-83, Compliment/Fora-2, Compliment/Fora. Resistant to brown rust: Umka-40, Proza-4, L-Izaura-64, L-386, Donskoy prostor/Izaura, Donskoy prostor/Bashkirskaya 10, Ivina/ Umka, L-S-1, L-S-2, L-S-3, L-S-12.*

В Российской Федерации зерновая проблема решается за счет возделывания пшеницы, площадь которой достигает 29,8 млн га, в том числе озимой – 15,7 млн га [1]. Озимая мягкая пшеница является одной из основных продовольственных культур в нашей стране [2]. В Западной Сибири и Уральском регионе существенный вклад может внести расширение посевов озимой пшеницы. Она лучше яровой пшеницы использует биоклиматический потенциал регионов выращивания и обеспечивает гарантированное производство зерна [3]. При соблюдении рекомендуемых технологий возделывания преимущество озимых культур перед яровыми составило от 0,4 до 1,2 т/ га. Но вероятность холодных и малоснежных зим, возврат отрицательных температур весной в период отрастания могут приводить к гибели посевов, что сдерживает спрос товаропроизводителей. В увеличении объемов производства зерна и его качества важнейшая роль принадлежит селекции [4] В сибирском регионе в крайне нестабильных условиях перезимовки необходимы сорта, сочетающие признаки продуктивности с повышенным уровнем адаптивности к стрессовым условиям [5]. Эффективность возделывания озимой пшеницы в условиях Зауралья зависит от основных характеристик – зимостойкости и морозоустойчивости, отражающих уровень концентрации водорастворимых сахаров, накопленных в узлах кущения [6]. Важнейший фактор морозоустойчивости озимых зерновых культур – сорт. Использование не изученных, не районированных в данной местности сортов увеличивает риск гибели посевов [7].

В последние годы в Курганской области используется ряд новых зимостойких сортов отечественной селекции (Альбина 45, Умка, Изаура, Скипетр). Высокая и стабильная урожайность, повышенные морозо- и зимостойкость, засухоустойчивость, улучшенное качество зерна – целевые признаки, необходимые сортам озимой пшеницы для условий Западной Сибири [8]. Целью исследований являлось изучение, оценка и выделение селекционных линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании (КСИ) по комплексу основных признаков, при которых стабильно сохраняется уровень урожайности. Задачи: проанализировать температурный режим и влагообеспеченность; выявить потенциал продуктивности озимой пшеницы; оценить комплекс хозяйственно-биологических признаков для создания зимостойких, высокоурожайных, с высоким качеством зерна, устойчивых к основным болезням сортов озимой пшеницы.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

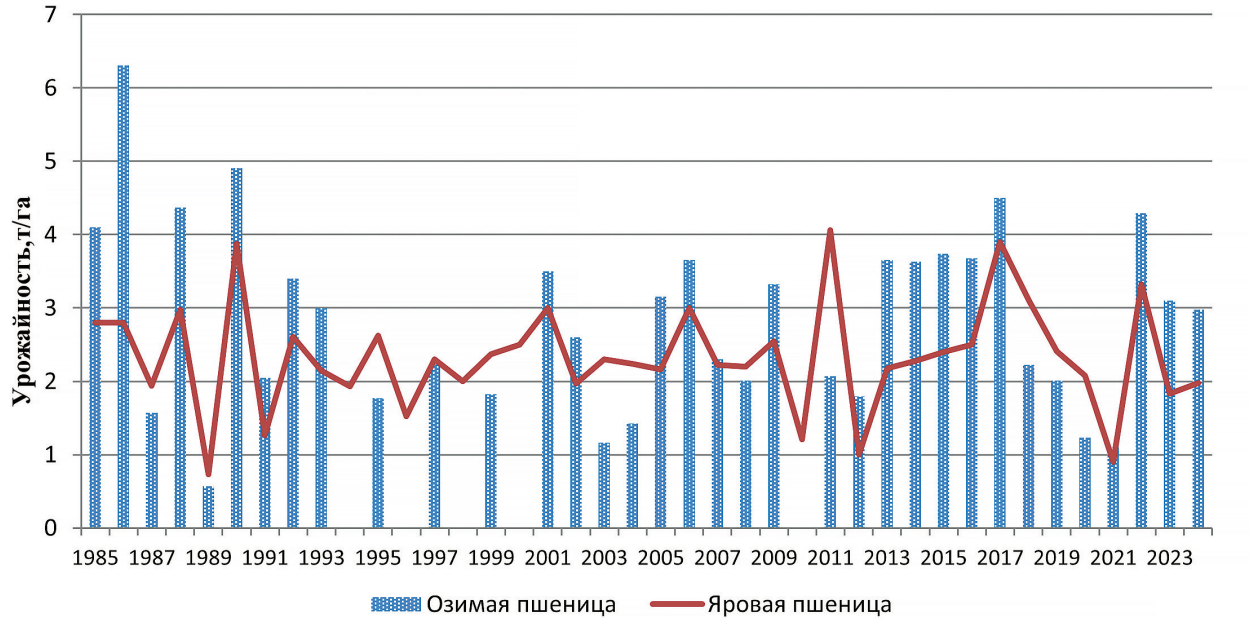
Опыты проведены в 2022–2024 гг. в Курганском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в лаборатории селекции пшеницы. Материалом исследования служили сорта КСИ озимой мягкой пшеницы селекции Курганского НИИСХ в сравнении со стандартом Омская озимая. Предшественник – пар. Срок посева в зависимости от наличия влаги в почве для получения дружных всходов – третья декада августа – первая декада сентября. Норма высева 5 млн всхожих зерен на гектар. Наблюдения и оценки проведены в соответствии с методикой государственного сортоиспытания [9]. Качество зерна и муки оценены соответственно ГОСТам в технологической лаборатории.

Опытный участок расположен в центральной зоне Курганской области. Почва – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый, содержание гумуса в слое 0–20 см – 4,26 % (по

Тюрину); pH вод – 5,7; содержание подвижного фосфора $P_2O_5$ (по Чирикову) – 118 мг/кг, обменного калия $K_2O$ – 217 мг/кг, нитратного азота $N–NO_3$ – 14 мг/кг почвы. Особенностями климата являются холодная, нередко малоснежная зима, короткое, но жаркое лето с повторяющимися засухами. Для весны характерны частые возвраты холодов. Количество осадков за год составляет 366–425 мм, сумма положительных температур – 2350–2380 °С, активных температур – 2047 °С. За теплый период (май – сентябрь) выпадает 56–59 % от общегодовой суммы осадков, среднемноголетний ГТК составляет 0,9–1,1, часто бывает ниже 0,5–0,7. Вероятность наступления засушливых явлений средней и слабой интенсивности в различные фазы развития растений достигает 100 %, интенсивных – 35 %. Засушливые годы составляют 33–40 % [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Курганская область относится к району рискованного земледелия. Основной продовольственной культурой в регионе является яровая мягкая пшеница, под которой занято 60 % площади всех зерновых культур. В структуре зерновых и зернобобовых культур области озимые занимают около 2 %. Многолетние исследования позволяют подтвердить преимущество озимой пшеницы над яровой по основному показателю: урожайность. За годы конкурсного сортоиспытания (1985–2024 гг.) урожайность озимой пшеницы составила в среднем 3,15 т/га, с колебаниями по годам от 0,57 т/га (1989 г.) до 6,31 т/га (1986 г.). По яровой пшенице за этот период урожай колебался от 0,73 до 4,06 т/га (рисунок).




Урожайность озимой и яровой мягкой пшеницы, 1985–2024 гг.
Yield of winter and spring soft wheat, 1985–2024

В среднем озимая пшеница дала урожай 3,6 т/га. Прибавка к яровой составила 0,43 т/га. Максимальный потенциал озимая пшеница проявила в 1986 г. при средней урожайности по питомнику КСИ 6,31 т/га с колебаниями по сортам от 4,0 до 7,0 т/га. Особенностью этого года явилось сочетание факторов: высокая влагообеспеченность вегетационного периода ($ГТК_{5-8}$ = 1,58; в мае – 1,78), благоприятный температурный режим, внесение в рядки при посеве 1,5 ц/га полного минерального удобрения нитрофоски – $N_{12}P_{12}K_{12}$, которое при наличии оптимального тепла и увлажнения во все фазы развития растениями хорошо усвоилось.

В контрастные по гидротермическим условиям годы озимая и яровая пшеницы могут играть взаимодополняющую роль. В годы с низким уровнем урожайности озимой пшеницы (в среднем 1,01 т/га), отмеченным в течение шести лет в конкурсном сортоиспытании, яровая показала 1,7 т/га (табл. 1). Для анализа этих показателей годы испытания по уровню урожайности отнесены к трем группам: низкоурожайные годы с интервалом от 0,05 до 1,57 т/га, среднеурожайные – от 1,77 до 2,60 т/га и высокоурожайные 2,98–6,31 т/га.

*Таблица 1*

**Урожайность озимой и яровой пшеницы, 1985–2024 гг.**
**Yield of winter and spring soft wheat, 1985–2024**

| Уровень урожайности | Озимая пшеница | | Среднее, т/га | | | Яровая пшеница | | Среднее, т/га | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Число лет | Min–max | Озимая | Яровая | ± к яровой | Число лет | Min–max | Яровая | Озимая | ± к яровой |
| Низкий | 6 | 0,05–1,57 | 1,01 | 1,7 | -0,69 | 8 | 0,73–1,98 | 1,45 | 1,97 | +0,52 |
| Средний | 11 | 1,77–2,60 | 2,18 | 2,3 | -0,12 | 13 | 2,08–2,41 | 2,25 | 2,41 | +0,16 |
| Высокий | 18 | 2,98–6,31 | 4,15 | 2,68 | +1,47 | 14 | 2,55–4,06 | 3,08 | 3,72 | +0,64 |

При среднем уровне урожайности озимой в 2,18 т/га (11 лет) различия с яровой пшеницей сглаживаются. А в течение 18 лет, более благоприятных по условиям, озимая пшеница существенно превосходила яровую, в среднем на 1,47 т/га. В годы с более низкой урожайностью яровой пшеницы, на уровне 0,73–1,98 т/га (8 лет), озимая формировала урожай выше в среднем на 0,52 т/га. Сочетание этих двух культур в производстве способствует устойчивости сборов зерна по годам.

В последние годы все чаще говорят о глобальном потеплении. Такая тенденция наблюдается в последние десятилетия и в Зауралье [11]. Анализ динамики осадков, температур за последние годы, особенно в холодный период, показал, что биоклиматический потенциал для озимых хлебов становится более благоприятным. Это создает положительные прогнозы для увеличения площадей под озимыми культурами.

По многолетним данным, за 40-летний период конкурсного испытания в Курганском НИИСХ (1985–2024 гг.) решающее влияние на продуктивность озимой пшеницы оказали агроклиматические факторы. Различные условия среды в годы исследований позволяют определить их влияние на изменчивость урожайности, что учитывается при создании сортов озимой пшеницы (табл. 2).

*Таблица 2*

**Характеристика агроклиматических условий при различных уровнях урожайности озимой пшеницы, Курганский НИИСХ, 1985–2024 гг.**
**Characteristics of agro-climatic conditions at different yield levels of winter wheat, Kurgan Research Institute, 1985–2024**

| Урожайность | | Сумма осадков за год | Сумма осадков за период, мм | | | | Среднемесячная температура воздуха, °С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Уровень | Параметры, т/га | | Осень | Зима | Весна | Лето | Осень | Зима | Весна | Лето |
| Низкий | 0,05–1,57 | 312 | 79,0 | 75,0 | 73,0 | 85,0 | 3,5 | -13,0 | 3,7 | 20,2 |
| Средний | 1,77–2,6 | 346 | 79,1 | 74,7 | 74,1 | 117,7 | 3,1 | -11,6 | 4,5 | 18,9 |
| Высокий | 2,98–6,31 | 393 | 96,8 | 87,2 | 76,5 | 132,4 | 2,8 | -12,5 | 4,4 | 18,6 |
| Среднее | | 358 | 87,2 | 80,7 | 74,8 | 115,7 | 3,0 | -12,4 | 4,2 | 19,1 |

Высокий и средний уровень урожайности отмечен в 73 % выборки. Пересев потребовался в четырех случаях при видах на урожай менее 0,05 т/га. Причины снижения урожайности до 0,05–1,57 т/га индивидуальны по сортам, но прослеживается связь с низким годовым уровнем осадков и повышенной температурой по сравнению с условиями получения более высокой продуктивности. Выявлен основной фактор снижения урожайности: весенне-летняя засуха с недостатком влаги ($r$ = 0,6–0,7) и с повышенным температурным режимом ($r$ = 0,5). В годы получения гарантированного урожая озимой пшеницы (в среднем 1,77–2,60 т/га) отмечено возрастание роли осадков за весь агрономический год ($r$ = 0,6), а также за осень и весну ($r$ = 0,3; 0,6). Положительно на уровне урожайности отразились более теплые зимы ($r$ = 0,7).

Формирование высокой продуктивности в пределах 3,0–5,0 т/га возможно при полном удовлетворении озимой пшеницы во влаге и тепле. По отношению к среднемноголетним показателям годовая влагообеспеченность в высокоурожайные годы была выше на 34,5 мм (9,6 %), за осень на 9,6 мм (11,0 %), за зиму на 6,5 мм (8,1 %), за весну на 1,7 мм (2,3 %), за лето на 16,7 мм (14,4 %).

Высокий уровень урожайности положительно коррелирует с более низкими осенними температурами по сравнению с многолетними данными ($r$ = 0,5).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для расширения посевов озимой пшеницы необходимы сорта, стабильно превышающие по урожайности яровую пшеницу. В результате селекционной работы с привлечением генотипически разнообразного исходного материала с нужными свойствами в институте удалось создать ряд новых сортов, уже включенных в производство: Альбина 45, Умка, Изаура. Следующая задача селекции озимой пшеницы состоит в создании новых генотипов, отвечающих требованиям производства и более приспособленных к изменяющимся климатическим условиям.

Наличие в опыте лет с экстремальными условиями, характерными для местных условий, является хорошим провокационным фоном для проведения полевых оценок, а также естественного и индивидуального внутрисортового отбора на адаптивность. Проведенный анализ сохранности селекционного материала позволил выделить более зимостойкие формы (табл. 3).

*Таблица 3*

**Перезимовка озимой пшеницы в 2022–2024 гг., %**
**Overwintering of winter wheat, 2022–2024, %**

| Сорт, линия | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. | Среднее |
|---|---|---|---|---|
| Омская озимая ст. | 78 | 48 | 95 | 73,7 |
| Умка 40 | 99 | 72 | 100 | 90,3 |
| Л-Изаура-58 | 90 | 60 | 98 | 82,7 |
| Л-88-71-22 | 80 | 71 | 100 | 83,7 |
| Л-88-79-35 | 99 | 66 | 98 | 87,7 |
| Л-88-79-40 | 98 | 66 | 100 | 88,0 |
| Compliment/Фора-2 | 99 | 62 | 100 | 87,0 |
| Compliment/Фора-4 | 98 | 62 | 100 | 86,7 |
| Л-СПГ-120-7 | 97 | 71 | 98 | 88,7 |
| Среднее | 93,1 | 64,2 | 98,8 | 85,4 |

Проверкой послужил 2023 г. с неблагоприятными погодными явлениями в позднеосенний период: позднее и недостаточное выпадение снега при низкой температуре воздуха. Стандарт Омская озимая перезимовал на 48 %, лучшие селекционные сорта на 60–70 %, что в среднем выше на 33 %. В итоге за 2022–2024 гг. выделен ряд зимостойких линий, адаптированных к местным условиям: Умка-40, Л-88-79-35, Л-88-79-40, Л-Изаура-58, Compliment/Фора-2, Compliment/Фора-4, Л-СПГ-120-7.

В настоящее время с учетом зимостойкости и урожайности за ряд лет генофонд конкурсного сортоиспытания пополнился новым перспективным материалом (табл. 4).

*Таблица 4*

**Урожайность линий озимой пшеницы в 2022–2024 гг., т/га**
**Productivity of winter wheat lines, 2022–2024, t/ha**

| Сорт, линия | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. | Среднее | ± к ст. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Омская озимая, ст. | 3,79 | 2,48 | 2,40 | 2,89 | ст. |
| Умка 40 | 5,75 | 3,43 | 2,93 | 4,04 | 1,15 |
| Умка | 4,27 | 3,73 | 2,96 | 3,65 | 0,76 |
| Л-Изаура-58 | 4,59 | 3,04 | 3,21 | 3,61 | 0,72 |
| Л-88-79-10 | 4,77 | 3,25 | 2,66 | 3,56 | 0,67 |

*Окончание табл. 4*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Л-88-79-11 | 5,00 | 3,15 | – | – | 0,94 |
| Л-88-71-13 | 3,91 | 3,18 | 3,52 | 3,54 | 0,65 |
| Л-88-71-22 | 4,08 | 3,52 | 2,93 | 3,51 | 0,62 |
| Л-88-79-35 | 5,27 | 3,36 | 2,14 | 3,59 | 0,70 |
| Л-88-79-38 | 5,15 | 3,56 | 2,64 | 3,78 | 0,89 |
| Л-88-79-40 | 5,18 | 3,30 | 2,72 | 3,73 | 0,84 |
| Л-88-79-83 | 4,05 | 3,11 | 3,39 | 3,52 | 0,63 |
| Л-88-79-84 | 4,17 | 3,26 | 1,90 | 3,11 | 0,22 |
| Compliment/Фора-2 | 5,39 | 3,06 | 3,16 | 3,87 | 0,98 |
| Compliment/Фора-4 | 4,94 | 3,13 | 2,85 | 3,64 | 0,75 |
| Compliment/Фора-5 | 4,90 | 3,29 | 3,06 | 3,75 | 0,86 |
| Л-СПГ-120-7 | 4,84 | 3,48 | 2,15 | 3,49 | 0,60 |
| Л-65309/1 | 4,86 | 2,21 | 3,33 | 3,47 | 0,58 |
| Л-КП-134-30 | 5,48 | 3,28 | 2,54 | 3,77 | 0,88 |
| Л-КП-134-37 | 4,57 | 3,23 | 2,36 | 3,39 | 0,50 |
| $НСР_{05}$ | 0,82 | 0,68 | 0,70 | 0,73 | |
| Среднее | 4,74 | 3,20 | 2,78 | 3,57 | 0,73 |

В среднем прибавка к стандарту Омская озимая составила 0,73 т/га. Достоверно высокая прибавка урожайности (0,94–1,15 т/га) по отношению к стандарту ($НСР_{05}$ = 0,73) получена у линий: Умка 40, Л-88-79-11, Compliment/Фора-2. В 2022 г. эти же линии показали потенциал выше 5 т/га (5,00–5,75), что существенно выше стандарта на 1,39–1,96 т/га.

Известно, что урожайность сорта складывается из отдельных признаков, главными из которых являются количество продуктивных колосьев, число зерен и их масса с главного колоса, масса 1000 зерен и др., на что, в свою очередь, оказывают влияние сложившиеся метеорологические условия в годы исследований [12].

В наших условиях одним из решающих факторов является сохранение густого стеблестоя, что присуще новым продуктивным сортам. В среднем за 2022–2023 гг. наибольшее количество сохранившихся к уборке растений (368–409 шт./ м$^2$) отмечено у линий: Умка 40, Л-88-71-13, Л-88-79-38, Л-88-79-83, Compliment/Фора-2, Л-КП-134-37 у стандарта 334 шт./м$^2$ (табл. 5). Высота растений находилась в пределах 92–104 см.

*Таблица 5*

**Структура урожая линий озимой пшеницы в 2022–2023 гг.**
**The structure of the harvest of winter wheat lines, 2022–2023**

| Сорт, линия | Густота стояния шт/м$^2$ | Кустистость, шт. | | Масса зерна колоса, г | Число колосков, шт. | Число зерен в колосе, шт. | Масса 1000 зерен, г | Масса зерна, г/м$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | общая | продуктивная | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Омская озимая, ст. | 334 | 2,3 | 2,1 | 1,45 | 16,2 | 29,5 | 40,5 | 312 |
| Умка 40 | 368 | 2,0 | 1,4 | 1,45 | 16,9 | 30,4 | 44,5 | 304 |
| Умка | 360 | 2,3 | 2,2 | 1,70 | 17,0 | 33,2 | 45,0 | 181 |
| Л-Изаура 58 | 339 | 1,9 | 1,7 | 1,65 | 16,9 | 32,0 | 46,5 | 276 |
| Л-88-71-13 | 373 | 1,8 | 1,5 | 1,55 | 17,2 | 31,7 | 44,5 | 366 |
| Л-88-79-11 | 361 | 2,0 | 1,8 | 1,20 | 15,5 | 29,3 | 43,5 | 345 |
| Л-88-79-35 | 346 | 2,0 | 1,8 | 1,30 | 16,8 | 30,3 | 42,0 | 382 |

*Окончание табл. 5*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Л-88-79-38 | 409 | 2,3 | 1,7 | 1,20 | 15,5 | 28,4 | 40,0 | 331 |
| Л-88-79-83 | 403 | 1,9 | 1,8 | 1,55 | 16,7 | 33,4 | 43,5 | 398 |
| Л-88-79-84 | 309 | 2,3 | 2,2 | 1,25 | 14,9 | 27,3 | 42,0 | 138 |
| Compliment/Фора-2 | 399 | 2,2 | 2,1 | 1,40 | 17,1 | 35,8 | 43,5 | 350 |
| Compliment/Фора-4 | 291 | 2,3 | 2,0 | 1,70 | 17,5 | 35,4 | 44,0 | 364 |
| Compliment/Фора-5 | 282 | 2,5 | 2,3 | 1,70 | 17,1 | 37,2 | 45,5 | 236 |
| Л-СПГ-120-7 | 341 | 2,0 | 1,7 | 1,85 | 16,6 | 33,7 | 43,5 | 378 |
| Л-65309/1 | 272 | 2,5 | 2,1 | 1,60 | 16,6 | 33,3 | 48,0 | 266 |
| Л-КП-134-30 | 321 | 2,1 | 1,9 | 1,75 | 16,8 | 31,2 | 45,5 | 205 |
| Л-КП-134-37 | 377 | 1,8 | 1,6 | 1,30 | 16,2 | 29,8 | 41,5 | 190 |
| Л-88-71-22 | 323 | 2,0 | 1,7 | 1,50 | 16,6 | 29,8 | 44,5 | 175 |
| Л-88-79-40 | 355 | 1,7 | 1,5 | 1,10 | 15,3 | 27,7 | 41,5 | 166 |
| Среднее | 345 | 2,1 | 1,8 | 1,48 | 16,5 | 31,5 | 43,7 | 282 |

Сорта, обладающие устойчивостью к неблагоприятным условиям внешней среды, формируют полноценное, хорошо выполненное зерно. Крупностью зерна (44,0–46,5 г) отличились линии: Умка 40, Умка, Л-Изаура-58, Л-88-71-13, Compliment/Фора-4, Compliment/Фора-5, Л-65309/1, Л-88-71-22 при показателе стандарта 40,5 г. В эти годы отмечена хорошая озерненность озимой пшеницы – 27,3–37,2 зерна с колоса при среднем значении 31,5. По этому показателю выделены линии: Compliment/Фора-2, Compliment/Фора- 4, Compliment/Фора-5, имеющие значительное превышение над стандартом. Сорта с высокой озерненностью колоса являются более приспособленными в конкретных условиях среды, так как их растения, имея увеличенное число семян, вносят большой вклад в следующие поколения [13].

Востребованность сорта зависит от комплексного сочетания продуктивности и качественных показателей зерна. За время создания сорта поэтапно проводилась оценка, на начальных этапах – седиментация, количество и качество клейковины, белок, в конкурсном сортоиспытании – полный технологический анализ. За годы исследования (2022–2024 гг.) по биохимическим свойствам выделены линии, сохраняющие ежегодно высокие показатели, соответствующие 1–2-му классам: Умка, Л-88-79-40, Л-88-79-83, Л-88-79-84, Л-65309/1 по содержанию белка (15,3–15,7 %), клейковины в зерне (30,8–36,6 %) и в муке (31,3–34,1 %) (табл. 6). Качество клейковины 2-й и 3-й группы.

*Таблица 6*

**Технологические свойства линий озимой пшеницы в 2022–2024 гг.**
**Technological properties of winter wheat lines, 2022–2024**

| Сорт, линия | Белок, % | | Клейковина, % | | | Объем хлеба, г/л | Х/п оценка, балл | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min–max | Сред. | Зерно | Мука | Сред. | | Min–max | Сред. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Омская озимая, ст. | 15,0–15,3 | 15,2 | 30,8 | 32,4 | 31,6 | 845 | 2,8–3,4 | 3,3 |
| Умка | 14,8–17,0 | 15,7 | 32,4 | 34,1 | 33,3 | 923 | 3,3–3,9 | 3,6 |
| Умка-40 | 14,2–15,8 | 15,2 | 30,8 | 31,5 | 31,1 | 925 | 3,5–4,0 | 3,8 |
| Л-88-71-22 | 13,8–15,5 | 14,9 | 29,6 | 30,7 | 30,2 | 978 | 3,6–3,8 | 3,7 |
| Л-88-79-10 | 14,7–15,2 | 15,0 | 29,9 | 30,4 | 30,2 | 855 | 3,3–3,8 | 3,5 |
| Л-88-79-38 | 15,1–15,3 | 15,2 | 30,4 | 31,7 | 31,1 | 878 | 3,0–4,2 | 3,6 |
| Л-88-79-40 | 15,4–15,5 | 15,4 | 31,5 | 31,3 | 31,4 | 812 | 2,0–3,9 | 3,2 |

*Окончание табл. 6*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Л-88-79-84 | 14,9–16,0 | 15,3 | 30,8 | 32,9 | 31,8 | 778 | 2,0–3,9 | 3,0 |
| Л-88-79-83 | 15,1–16,1 | 15,6 | 36,6 | 32,0 | 34,3 | 898 | 3,5–3,8 | 3,7 |
| Compliment/Фора-2 | 14,8–15,5 | 15,2 | 30,3 | 32,2 | 31,3 | 862 | 2,8–4,0 | 3,6 |
| Compliment/Фора-4 | 14,6–15,4 | 15,0 | 30,1 | 31,4 | 30,7 | 885 | 3,3–4,0 | 3,6 |
| Compliment/Фора-5 | 14,8–15,3 | 15,0 | 29,9 | 32,3 | 31,1 | 913 | 3,3–4,0 | 3,6 |
| Л-СПГ-120-7 | 14,8–15,3 | 15,1 | 30,1 | 31,6 | 30,9 | 828 | 2,2–4,0 | 3,2 |
| Л-65309/1 | 15,0–15,6 | 15,3 | 31,0 | 32,4 | 31,7 | 912 | 2,0–4,0 | 3,2 |
| Л-КП-134-30 | 14,4–15,2 | 14,8 | 29,4 | 32,3 | 30,8 | 917 | 2,5–4,2 | 3,5 |
| Л-КП-134-37 | 14,5–15,2 | 14,9 | 29,5 | 31,1 | 30,3 | 960 | 3,2–3,9 | 3,6 |
| Л-88-79-11 | 15,0–15,2 | 15,1 | 32,6 | 30,7 | 31,7 | 848 | 3,4–3,7 | 3,6 |
| Л-88-71-13 | 14,8–15,7 | 15,3 | 33,7 | 30,5 | 32,1 | 963 | 3,8–3,9 | 3,8 |
| Л-88-79-35 | 15,0–15,2 | 15,1 | 31,8 | 30,4 | 31,1 | 795 | 2,1–3,7 | 3,1 |
| Л-Изаура 58 | 14,3–14,9 | 14,7 | 28,6 | 29,2 | 28,9 | 840 | 2,5–3,7 | 3,3 |
| Среднее | 14,7–15,5 | 15,2 | 31,0 | 31,6 | 31,3 | 881 | 2,9–3,9 | 3,5 |

По хлебопекарным свойствам представляют интерес линии: Умка, Умка-40, Л-88-71-22, Л-88-71-13, Compliment/Фора-5, Л-КП-134-30, Л-КП-134-37 с показателями объема хлеба в среднем за три года от 913 до 978 г/мл, хлебопекарной оценкой 3,5–3,8 балла против соответствующих показателей стандарта Омская озимая: 845 г/мл и 3,3 балла.

В Российской Федерации листовые болезни ежегодно приносят потери урожая озимой пшеницы от 8 до 19 %, а в благоприятные для развития эпифитотий годы могут достигать 40 % [14]. Поэтому сорта должны обладать генетической устойчивостью к патогенам, поражающим растения [15]. В 2022–2023 гг. проведена полевая оценка сортов на устойчивость к мучнистой росе и склеротиниозу. За два года изучения мучнистой росой (*Blumeria graminis*) в меньшей степени (5 %) поражались линии: Л-88-79-35, Л-88-79-38, Л-88-79-40, КП-134-30, Compliment/Фора-2, Compliment/Фора-4, Compliment/Фора-5, Л-СПГ-120-7. Менее устойчивым оказался стандарт Омская озимая 30 % (табл. 7).

В 2023 г., ввиду сильного ослабления растений в осенний и раннезимний периоды, посевы были поражены склеротиниозом (*Sclerotinia sclerotiorum*) от 15 до 40 %, стандарт Омская озимая – 52 %. В среднем по линиям – 27,4 %. В 2022 г. поражение посевов склеротиниозом было меньше (1,0–2,2 %). За два года выделены менее восприимчивые: Л-88-79-40, Л-88-79-83, Compliment/Фора-2, Compliment/Фора-4 (10–10,6 %). Низкую устойчивость показал стандарт Омская озимая – 27,1 %.

*Таблица 7*

**Поражение пшеницы склеротиниозом и мучнистой росой в 2022–2023 гг.**
**Wheat infection with sclerotinia sclerotiorum and blumeria graminis, 2022–2023**

| Сорт, линия | Склеротиниоз, % | | Мучнистая роса, % | |
|---|---|---|---|---|
| | 2022 г. | 2023 г. | 2022 г. | 2023 г. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Омская озимая ст. | 2,2 | 52 | 40 | 20 |
| Умка 40 | 1,0 | 28 | 10 | 5 |
| Л-Изаура-58 | 1,0 | 40 | 15 | 10 |
| Л-88-79-10 | 1,6 | 30 | 15 | 10 |
| Л-88-79-35 | 1,0 | 30 | 5 | 5 |
| Л-88-79-38 | 1,2 | 25 | 5 | 5 |
| Л-88-79-40 | 1,2 | 20 | 5 | 5 |

*Окончание табл. 7*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Л-88-79-83 | 2,0 | 18 | 15 | 10 |
| Л-КП-134-30 | 1,0 | 23 | 5 | 5 |
| Compliment/Фора-2 | 1,0 | 15 | 5 | 5 |
| Compliment/Фора-4 | 1,2 | 20 | 5 | 5 |
| Compliment/Фора-5 | 1,8 | 25 | 5 | 5 |
| Л-СПГ-120-7 | 1,1 | 25 | 5 | 5 |
| Среднее | 1,4 | 27,4 | 11,5 | 7,7 |

С устойчивостью к бурой ржавчине (*Puccinia triticina*) – 1 балл выделены: Умка-40, Проза-4, Л-Изаура-64, Л-386, Донской простор/Изаура, Донской простор/Башкирская 10, Айвина/Умка, Л-С-1, Л-С-2, Л-С-3, Л-С-12.

В 2024 г. сложились благоприятные условия (ГТК = 1,61) для предуборочного прорастания зерна в колосе, что позволило оценить селекционный материал в естественных условиях. Линии сформировали среднее по крупности зерно от 28 до 37 г, с низкой натурой от 634 до 714 г/л, стекловидностью 28–48 %. В этих условиях выделены линии с наименьшим процентом прорастания зерен: Л-Изаура-58, Л-88-79-10, Compliment/Фора-4.

## ВЫВОДЫ

1. Озимая пшеница за 35 лет изучения в конкурсном сортоиспытании при урожайности в среднем 3,6 т/га дала прибавку к яровой 0,43 т/ га, при этом существенна роль сорта.

2. Выявлен перспективный селекционный материал с комплексом признаков: зимостойкость, качество зерна, устойчивость к болезням при урожайности 3,73–4,04 т/га, что выше стандарта Омская озимая на 0,84–1,15 т/га: Умка 40, Л-88-79-38, Л-88-79-40, Compliment/Фора-2, Л-КП-134-30.

3. По биохимическим показателям соответствуют 1–2-му классам линии: Умка, Умка 40, Л-88-71-22, Compliment/Фора-5, Л-65309/1, Л-88-79-40, Л-88-79-83, Л-88-79-84 (содержание белка 15,2–15,7 %, клейковины 30,1–30,2 %).

4. Высокие хлебопекарные свойства сформировали Умка 40, Л-88-71-13, Л-88-71-22, Умка, Compliment/Фора-5, Л-88-79-38, Л-88-79-83, Л-КП-134-30, Л-КП-134-37, (объем хлеба от 913 до 978 г/мл.)

5. В годы распространения болезней выделен ряд линий, превысивших стандарт по устойчивости к мучнистой росе, бурой ржавчине, склеротиниозу.

6. Высокий потенциал селекционного материала озимой пшеницы дает перспективу создания новых сортов, приспособленных к местным условиям и дальнейшему расширению посевов этой культуры в условиях Зауралья.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Урожай* зерна 2024 года в России – 124,96 млн тонн. [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/Z2xTfjT-fGFamO7di (дата обращения: 04.02.2025).
2. *Урожайность* сортов озимой мягкой пшеницы, элементы ее структуры и адаптивные свойства в условиях Нечерноземной зоны / Б.И. Сандухадзе, Р.З. Мамедов, М.С. Крахмалева, В.В. Бугрова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 3 (39). – С. 17–22.
3. *Ковтун В.И., Ковтун Л.Н.* Высокопродуктивная озимая мягкая пшеница универсального типа Армада // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (68). – С. 26–28.
4. *Ковтун В.И., Ковтун Л.Н.* Конкурентная адаптивная мягкая озимая пшеница сорта Ставропольская 23 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2 (106). – С. 24–28.
5. *Оценка* сибирских форм озимой пшеницы по урожайности и параметрам адаптивности / К.К. Мусинов, Г.В. Артемова, П.И. Степочкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 10. – С. 11–16.
6. *Фокин И.И.* Перезимовка озимой пшеницы в зависимости от приемов возделывания // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 1. – С. 3–9.
7. *Тупицын Н.В., Тупицын В.Н.* О морозоустойчивости озимых зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2. – С. 53.
8. *Изучение* коллекции сортообразцов озимой пшеницы зарубежной селекции в условиях Западной Сибири / И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев, А.М. Ковальчук, В.П. Шаманин // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 12 (201). – С. 85–92.
9. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.,1985. – 269 с.

10. *Анализ* погодных условий в связи с возделыванием озимой пшеницы в лесостепной зоне Зауралья / Е.А. Филиппова, Н.Ю. Банникова, Л.Т. Мальцева [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 1 (65). – С. 32–37.
11. *Нестерова Е.В.* Непростой характер зауральской погоды // Нивы России. – 2018. – № 3 (158). – С. 60–62.
12. *Салтыкова О.Л., Бакаева Н.П.* Элементы структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от гидротермического коэффициента и способов основной обработки почвы при многолетних исследованиях // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2024. – № 1 (65). – С. 39–46.
13. *Что* такое модель сорта: монография / С.Ф. Коваль [и др.]. – Омск, 2005. – 277 с.
14. *Маскаленко О.А., Ефимченко В.А., Шадрина Л.А.* Биоразнообразие возбудителей листовых болезней в агроценозе озимой пшеницы сорта Юка в условиях опытного поля КубГАУ // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по мат-м IX Всерос. конф. молодых ученых. – Краснодар: Кубан. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 212–213.
15. *Ковтун В.И., Ковтун Л.Н.* Новый с комплексом ценных хозяйственно-биологических признаков сорт пшеницы озимой Ставропольская 21 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (94). – С. 16–22.

## REFERENCES

1. Urozhaj zerna 2024 goda v Rossii, 124,96 mln ton: https://dzen.ru/a/Z2xTfjTfGFamO7di (available at: April 02, 2025). (In Russ.)
2. Sanduhadze B.I., Mamedov R.Z., Krahmaleva M.S., Bugrova V.V., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury*, 2021, No. 3 (39), pp. 17–22. (In Russ.)
3. Kovtun, V.I., Kovtun L.N., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 6 (68), pp. 26–28. (In Russ.)
4. Kovtun, V.I., Kovtun L.N., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024, No. 2 (106), pp. 24–28. (In Russ.)
5. Musinov K.K., Artemova G.V., Stepochkin P.I. Lihenko I.E., Surnachjov A.S., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2021, T. 35, No. 10, pp. 11–16. (In Russ.)
6. Fokin I.I., *Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2011, No. 1, pp. 3–9. (In Russ.)
7. Tupicyn, N.V., Tupicyn V.N., *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk*, 2012, No. 2, p. 53. (In Russ.)
8. Potockaja I.V., Shepelev S.S., Koval'chuk A.M., Shamanin V.P., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 12 (201), pp. 85–92. (In Russ.)
9. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1985, 269 p.
10. Filippova E.A., Bannikova N.Ju, Mal'ceva L.T., Drobot I.A., Kataeva N.V., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2022, T. 17, No. 1 (65), pp. 32–37. (In Russ.)
11. Nesterova E.V., *Nivy Rossii*, 2018, No. 3 (158), pp. 60–62. (In Russ.)
12. Saltykova O.L., Bakaeva N.P., *Vestnik Ul'janovskoj GSHA*, 2024, No. (65), pp. 39–46. (In Russ.)
13. Koval' S.F. i dr., Chto takoe model' sorta (What is a variety model), Omsk. 2005. p. 277. (In Russ.)
14. Maskalenko, O.A., Efimchenko V.A., Shadrina L.A., *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa* (Scientific support for the agro-industrial complex), (IX All-Russian Conference of Young Scientists), 2016, Krasnodar, 2016, pp. 212–213. (In Russ.)
15. Kovtun, V.I., Kovtun L.N., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 2(94), pp. 16–22. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*Л.Т. Мальцева,* кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции пшеницы
*Е.А. Филиппова,* старший научный работник лаборатории селекции пшеницы
*Н.Ю. Банникова,* старший научный работник лаборатории селекции пшеницы
*А.Г. Ефимова,* младший научный работник лаборатории селекции
*О.В. Пушкарева,* младший научный работник лаборатории селекции

**Contribution of the authors:**
*L.T. Maltseva,* Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Wheat Breeding Laboratory
*E.A. Filippova,* Senior Researcher, Wheat Breeding Laboratory
*N.Y. Bannikova,* Senior Researcher, Wheat Breeding Laboratory
*A.G. Yefimova,* Junior researcher at the selection laboratory
*O.V. Pushkareva,* Junior researcher at the selection laboratory

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-127-136
УДК 634.22:631

# КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОРТОВ ГРУШИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

**Н.И. Матвеева**

*Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Астраханская область, Россия*

**E-mail:** matni29@mail.ru

Для цитирования: *Матвеева Н.И.* Комплексная оценка хозяйственно ценных показателей сортов груши в условиях Северного Прикаспия // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 127–136. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-127-136.

**Ключевые слова:** продуктивность, груша, масса плода, проекция кроны, цветение, объем кроны, площадь питания, площадь поперечного сечения штамба.

**Реферат.** *В статье представлены результаты испытаний сортов груши с целью выделения более ценных по комплексу хозяйственных признаков, которые отвечают требованиям современного интенсивного садоводства в условиях Северного Прикаспия. Объекты исследования – пять сортов груши: Красивая, Надежда, Молдавская ранняя, Виктория, Люберская, привитые на подвое ВА-29. Контроль – районированный сорт груши Красивая. Исследования проводились на опытном участке ФГБНУ "Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук" по общепринятым методикам. Почвы, где изучались сорта, светло-каштановые карбонатные, мощные, среднемощные. Содержание гумуса составляет 1,02 % на глубине 0–40 см, легкогидролизуемого азота 24,4 мг/кг, подвижного фосфора 26,4 мг/ кг, обменного калия – на уровне 368 мг/кг почвы. Результаты параметров сортов груши показали, что высота зависит от сорта и колеблется от 3,0 до 4,5 м. Сильнорослыми были отмечены сорта Виктория (4,5 м), Красивая (4,1 м). Установлено, что площадь листьев, образованная на одном гектаре у сортов груши Красивая (к), Люберская и Виктория, в среднем составила 2500–2700 м²/га. По результатам расчетов распределения площади питания среди сортов груши выделились сорта Виктория (71,7 %), Красивая (70,4 %) и Молдавская ранняя (65,2 %) с наиболее развитыми кронами и освоившими более половины выделенного пространства. В течение трех лет плодоношения выделились сорта, которые имели высокую продуктивность: Виктория, в среднем продуктивность составила 11,2 кг с дерева, Надежда – 9,6 кг с дерева, Молдавская ранняя – 8,7 кг с дерева. Высокая средняя удельная продуктивность на единицу площади проекции кроны отмечалась у сортов Надежда – 6,1 кг/м², Виктория – 5,6 кг/м², Молдавская ранняя – 5,0 кг/м². Нагрузка плодами на единицу площади сечения штамба была более высокой у сортов Виктория (0,79 кг/см²) и Надежда (0,68 кг/см²) по сравнению с контролем сортом Красивая (0,60 кг/см²).*

# COMPLEX EVALUATION OF ECONOMIC-VALUABLE INDICATORS OF PEAR VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE NORTHERN CASPIAN REGION

**N.I. Matveeva**

*Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Astrakhan Region, Russia*

**E-mail:** matni29@mail.ru

**Keywords:** productivity, pear, fruit weight, crown projection, flowering, crown volume, feeding area, cross-sectional area of the stem.

**Abstract.** *The article presents the results of testing pear varieties in order to identify those with more valuable complex of economic characteristics that meet the requirements of modern intensive horticulture in the conditions of the Northern Caspian region. The objects of the study are 5 pear varieties: Krasivaya, Nadezhda, Moldavskaya rannyaya, Victoria, Lyuberskaya, grafted onto the VA-29 rootstock. Control is the zoned pear variety Krasivaya. The studies were carried out on the experimental plot of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences using generally accepted methods. The soils where the varieties were studied are light chestnut carbonate, powerful, medium-powerful. The humus content is 1.02 % at a depth of 0–40 cm, easily hydrolyzable nitrogen 24.4 mg/kg, mobile phosphorus 26.4 mg/kg, exchangeable potassium – at the level of 368 mg/kg of soil. The results of the pear variety parameters showed that the height depends on the variety and*

*fluctuates between 3.0 and 4.5 m. The Victoria (4.5 m) and Krasivaya (4.1 m) varieties were noted as vigorous. It was found that the leaf area formed on one hectare in the Krasivaya (k), Lyuberskaya and Victoria pear varieties averaged 2500–2700 m2/ha. According to the results of calculating the distribution of the feeding area among the pear varieties, the Victoria (71.7 %), Krasivaya (70.4 %) and Moldavskaya Rannyaya (65.2 %) varieties stood out with the most developed crowns and having mastered more than half of the allocated space. During three years of fruiting, the varieties with high productivity stood out: Victoria, which averaged 11.2 kg/tree, Nadezhda 9.6 kg per tree, Moldavskaya Rannyaya – 8.7 kg/tree. High average specific productivity per unit of crown projection area was observed in the varieties Nadezhda – 6.1 kg/m$^2$, Victoria – 5.6 kg/m$^2$, Moldavskaya rannyaya – 5.0 kg/m$^2$. The fruit load per unit of trunk cross-section area was higher in the varieties Victoria (0.79 kg/cm$^2$) and Nadezhda (0.68 kg/cm$^2$) compared to the control variety Krasivaya (0.60 kg/cm$^2$).*

Распространение груши обусловлено ее высокими вкусовыми и питательными характеристиками. В плодах содержится значительное количество сахаров (от 5,17 до 14,9 %), органических кислот (0,06–0,93 %), Р-активных веществ (55,0–182,1 мг/100 г), витамина С (1,9–14,6 мг/100 г), а также необходимые для человека минеральные вещества.

Груша является культурой, предпочитающей теплый климат. В южных регионах показывает наилучшие результаты. Ее плоды характеризуются высоким качеством вкуса [1, 2]. Повышенная жаростойкость и засухоустойчивость грушевых деревьев по сравнению с яблонями обусловлена, предположительно, физиологическими особенностями протоплазмы и более глубокой корневой системой [3, 4]. В современном мире культивирование груши получило широкое распространение, охватывая более 80 стран.

В настоящее время промышленное садоводство Северного Прикаспия испытывает дефицит сортов груши, обладающих рядом ценных характеристик. Требуются высокопродуктивные сорта с компактной кроной, устойчивые к неблагоприятным стресс-условиям среды и вредителям и имеющие плоды высокого качества как для свежего потребления, так и для промышленной переработки [5–7]. Необходимы сорта с различными сроками созревания, пригодные для длительного хранения. Разработка таких сортов является приоритетной задачей для региона.

Цель исследования – выделить сорта, наиболее ценные по комплексу хозяйственных признаков, отвечающие требованиям современного интенсивного садоводства в условиях Северного Прикаспия.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом исследований являлись пять сортов груши: Красивая, Надежда, Молдавская ранняя, Виктория, Люберская, привитые на подвое ВА-29.

Сорт груши Красивая украинского происхождения. Плоды созревают в конце августа. У сорта высокая устойчивость к парше. Урожайность средняя.

Сорт Надежда зимний, получен от скрещивания сортов Бере Сикс и Фелпс на Крымской опытной станции садоводства. Сорт характеризуется скороплодностью, достаточно высокой зимостойкостью. Устойчив к парше и термическому ожогу листьев. В условиях Астраханской области этот сорт охарактеризовался летним сроком созревания: конец июля – начало августа.

Груша Молдавская ранняя – сорт молдавской селекции. Получен от опыления Любимицы Клаппа пыльцой Вильямса в 1970 г. Плоды созревают во второй половине июля – начале августа. Сорт урожайный, скороплодный.

Летний сорт Виктория выведен в институте орошаемого садоводства УААН от скрещивания сортов Бере Боск и Толстобежка. Сорт районирован по Северо-Кавказскому региону. Съемная зрелость плодов наступает в конце августа. Хорошая транспортабельность. Зимостойкость и засухоустойчивость высокие, устойчив к парше. Урожайность сорта высокая.

Позднелетний сорт Люберская селекции Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства получен от скрещивания сортов Любимица Клаппа и Бере Арданпон. Сорт скороплодный, зрелость плодов наступает в конце августа. Высокая зимостойкость и засухоустойчивость. Урожайность высокая, устойчив к парше.

Исследования проводились на опытном участке ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» Астраханской области, Черноярского района, села Соленое Займище, по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [8]. Засухоустойчивость проводилась по методике Т.П. Огольцова [8].

Статистическая обработка экспериментальных данных – методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [10], а также с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Оценка засухоустойчивости различных сортов груши проводилась в периоды наибольшей напряженности стрессовых факторов: первая декада июля – вторая декада августа. В утренние часы в средней части кроны отбирали пробы по 5 листьев в трехкратной повторности. Пробы упаковывались в полиэтиленовые пакеты, доставлялись в лабораторию, взвешивались и раскладывались для завядания. Водоудерживающая способность листьев $R$ определялась по потере воды через четыре часа завядания и предельную водопотерю – через 24 ч по формуле

$$R = (M_1 – M_2/ M) \times 100,$$

где $M$ – масса свежей пробы, $M_1$ – масса пробы через 4 ч завядания, $M_2$ – масса пробы после полного высушивания.

Для оценки жаростойкости использовали комплексный метод, разработанный В.Г. Леонченко (2007). Листья подвергали тепловому шоку (+50 °С в течение 1,5 ч) с последующим их подвяданием.

Площадь листьев определялась весовым методом (А.С. Овсянников, 1985). Листья отбирались из средней части кроны дерева. Для каждого сорта по 10 шт. в трехкратной повторности. Данные по длине $Д_{ср}$ и ширине $Ш_{ср}$ листовой пластинки применяли для определения переводного коэффициента и вычисления площади листовой пластинки. Площадь измеренных листьев $S$ рассчитывалась по формуле

$$S = Д_{ср} \times Ш_{ср} \times К,$$

где $К$ – переводной коэффициент для каждого сорта, который рассчитывается по формуле $К = S_л/S_{кв}$, где $S_л$ – площадь листа дерева, $S_{кв}$ – площадь квадрата бумаги. Затем, в итоге, определялась средняя площадь листьев в расчете на одно дерево и на гектар сада.

Размер плодов определялся по пятибалльной шкале: 5 – очень крупные, 4 – крупные, 3 – средние, 2 – мелкие, 1 – очень мелкие. Оценка качества плодов проводилась по мере созревания плодов груши, начиная с их помологического описания.

Почвенный покров исследуемого участка включает светло-каштановые карбонатные почвы, мощные и среднемощные. В пахотном горизонте на глубине 0–40 см содержание гумуса составляет 1,02 %, а легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора – 24,4 и 26,4 мг/кг почвы соответственно. Обменный калий зафиксирован на уровне 368 мг/кг почвы. Грунтовые воды находятся на глубине более 3,5 м. Участок орошаемый. Климатические характеристики региона исследования определяются резкой континентальностью. Зима холодная и малоснежная, с частыми колебаниями температуры. Лето отличается экстремальной засушливостью и высокой температурой, сопровождается постоянными суховеями. Годовое количество осадков составляет лишь 250–260 мм, в то время как испаряемость превышает уровень осадков в 3–5 раз. Суммарная активная температура выше 10 °С колеблется в пределах 3200–3400 °С.

Территория исследования, согласно климатическому районированию, принадлежит к континентальной восточно-европейской зоне умеренного климата. Абсолютная годовая температура колеблется в пределах 70–80 °С. Годовое количество осадков остается на очень низком уровне: порядка 250–260 мм. В условиях значительного испарения коэффициент увлажнения показывает крайне низкие значения: 0,25–0,27. Данный среднегодовой коэффициент увлажнения значительно ниже оптимальных показателей, необходимых для наилучшего развития плодовых культур [11].

По классификации Д.И. Шашко [12], зима 2023–2024 гг. по типу суровости была мягкой. Декабрь, в сравнении с предыдущим годом, был намного теплее. Средние температуры были на 3,3–3,8 °С (выше прошлогодних значений). Воздух днем прогревался до +10,9 °С. Ночью температура опускалась до -13,4 °С. В течение месяца наблюдалось 16 дней оттепели с температурой +0,2–8,1 °С. Осадки в виде снега были зафиксированы только в первой декаде месяца и в среднем снежный покров составлял 4,2 см. Почва промерзла в этот период на 6,2 см.

В первой и второй декадах января текущего года в течение восьми дней наблюдались оттепели с температурой от 0,0 до +4,5 °С. В первой декаде месяца после пяти дней оттепели (+0,9–4,5 °С) отмечено резкое снижение температуры в ночное время до – 13,4 °С с последующим понижением до – 18,9° С. Весна текущего года была поздняя, холодная и относительно дождливая. Среднедекадные температуры в марте на 6,0–10,4 °С были ниже значений 2023 г. Днем воздух прогревался до +6,0–16,2 °С, а ночные заморозки сохранялись всю первую и до начала второй декады -3,5…-13,9. Осадки были только во второй и третьей декадах

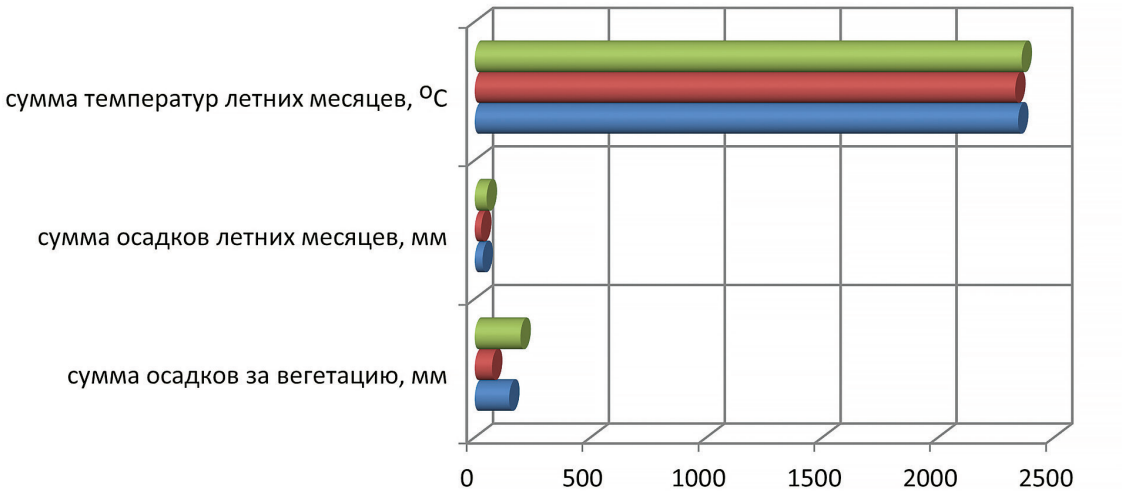
месяца и составили 24,8 мм. Относительная влажность была в пределах нормы 80 %.

Температура воздуха в апреле в среднем по декадам была на 1,4–3,5 °С выше прошлогодних значений и в среднем составила 12,7–18,6 °С. Максимальные температуры достигали 23,3–30,7 °С, а ночью в течение месяца опускалась до 2,7 °С. Апрель был засушливым, минимальное количество осадков (0,6 мм) выпало только во второй декаде месяца, влажность воздуха была в пределах 58 %.

В мае текущего года среднемесячная температура воздуха была на 1,7 °С ниже по сравнению с прошлым годом. Максимальные температуры воздуха достигали 23,1–33,2 °С. Относительная влажность имела низкие значения и составила всего 39 %. Июль – самый жаркий месяц. Среднесуточные температуры в июле по декадам варьировали от 28,1 до 29,8 °С, что на 1,7–5,0 °С выше прошлогодних значений. Максимальная температура днем наблюдалась только в первой декаде месяца и достигала +40,6 °С. Осадков за месяц выпало 17,4 мм, относительная влажность воздуха варьировала в пределах 32–47 %.

В августе среднедекадные температуры воздуха достигали 22,8–25,3 °С, максимальные температуры днем поднимались до 31,7–34,9 °С. Осадков за месяц выпало 26,3 мм. Относительная влажность воздуха составляла 41,6 %.

Температурный режим периода вегетации сортов груши в 2022–2024 гг. представлен на рисунке.




| | сумма осадков за вегетацию, мм | сумма осадков летних месяцев, мм | сумма температур летних месяцев, °С |
|---|---|---|---|
| 2024 | 197,4 | 51,3 | 2360,3 |
| 2023 | 74,5 | 27,6 | 2332,7 |
| 2022 | 148,6 | 33,9 | 2345,1 |

Температурный режим периода вегетации сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.
Temperature regime of the growing season of pear varieties, average for 2022–2024.

Для нормального роста, плодоношения и формирования урожая плодовые культуры в каждую фазу своей вегетации были в достаточной мере обеспечены соответствующим уровнем суммы эффективных температур.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

У всех исследуемых сортов груши в Астраханской области вегетационный период начинался в период с третьей декады марта до первой декады апреля. Как показал анализ, это время необходимо для прохождения фенологических этапов в зависимости от погодных условий каждого года. Признаки распускания почек у разных сортов варьируются от восьми до пятнадцати дней (табл. 1).

Исследования параметров грушевых деревьев показали, что высота зависит от сорта и колеблется от 3,0 до 4,5 м. Более сильнорослыми были отмечены сорта Виктория (4,5 м), что на 0,4 м больше, чем у контрольного сорта Красивая (4,1 м). Сорт груши Надежда уступил контролю сорта Красивая на 0,2 м (табл. 2).

*Таблица 1*

**Фенологические этапы у сортов груши, 2022–2024 гг.**
**Phenological stages of pear varieties, 2022–2024**

| Сорт | Распускание почек | | Цветение | | Дата созревания | Продолжительность вегетационного периода, сут |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | генеративных | вегетативных | начало | конец | | |
| Красивая (к) | 29.03–06.04 | 09.04–24.04 | 26.04–02.05 | 14.05–17.05 | 25.08–30.08 | 177 |
| Надежда | 13.04–20.04 | 15.04–25.04 | 28.04–02.05 | 13.05–19.05 | 23.08–28.08 | 163 |
| Молдавская ранняя | 11.04–21.04 | 21.04–28.04 | 26.04–05.05 | 04.05–11.05 | 13.08–27.08 | 142 |
| Виктория | 11.04–18.04 | 08.04–21.04 | 23.04–26.04 | 06.05–15.05 | 24.08–28.08 | 138 |
| Люберская | 18.04–22.04 | 10.04–20.04 | 13.04–25.04 | 06.05–12.05 | 08.10–11.10 | 194 |

*Таблица 2*

**Параметры силы роста сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Growth force parameters of pear varieties, average for 2022–2024.**

| Сорт | Высота дерева, м | Диаметр кроны, м | Диаметр штамба, см | Площадь сечения штамба, $см^2$ | Площадь проекции кроны, $м^2$ | Объем кроны, $м^3$ | Освоение площади питания, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Красивая (к) | 4,1 | 3,3 | 5,3 | 29,4 | 3,8 | 4,0 | 70,4 |
| Надежда | 3,9 | 2,0 | 4,1 | 37,1 | 3,6 | 5,2 | 47,5 |
| Молдавская ранняя | 3,0 | 2,8 | 3,7 | 44,6 | 4,6 | 5,4 | 65,2 |
| Виктория | 4,5 | 5,2 | 6,1 | 50,2 | 5,4 | 6,8 | 71,7 |
| Люберская | 3,4 | 2,9 | 4,3 | 25,9 | 3,7 | 4,3 | 45,3 |
| $НСР_{05}$ | 0,2 | | | | | | |

Ключевыми показателями, отражающими эффективность сорта и влияющими на продуктивность дерева, являются диаметр и площадь поперечного сечения штамба. Наибольший диаметр штамба был зафиксирован у сорта Виктория и составил 6,1 см, что на 0,8 см больше, чем у сорта Красивая (к) – 5,3 см. Меньший диаметр штамба наблюдался у сорта Молдавская ранняя (3,7 см). В ходе наблюдений выявлено, что сорта Виктория и Молдавская ранняя показали высокие значения площади поперечного сечения штамба: 44,6 и 50,2 $см^2$ соответственно (см. табл. 2). Минимальные значения площади сечения были зарегистрированы у сортов Люберская и Красивая (к): 25,9 и 29,4 $см^2$ соответственно.

При изучении сортов груши учитывалась и площадь проекции кроны. Она показывает, сколько места из выделенной площади питания занимает каждый сорт. Этот параметр позволяет наиболее точно определить, какие требования к площади питания имеют различные сорта, а также выбрать оптимальную схему посадки для эффективного использования земельных ресурсов [12, 13]. Все сорта использовали 45,3–71,7 % выделенной площади питания, что дает возможность разместить их по более плотным схемам посадки. По результатам расчетов распределения площади питания было установлено, что среди сортов груши с наиболее развитыми кронами более половины выделенного пространства освоили только деревья сортов Виктория (71,7 %), Красивая (70,4 %) и Молдавская ранняя (65,2 %). Остальные сорта использовали менее половины выделенного ресурса. Наименьшее освоение площади наблюдалось у сорта Люберская, где этот показатель составлял всего 45,3 %. Площадь поверхности листьев – также ключевой фактор для достижения высокой продуктивности растений. Поверхность листьев способствует активному фотосинтетическому процессу и значительному увеличению биомассы. Это, в свою очередь, оказывает весомое влияние на объем урожая.

Известно, что в зависимости от сорта на один плод груши необходимо от 20 до 30 ли-

стьев [12]. У различных сортов груши площадь листьев варьируется. В ходе эксперимента более крупные листья были зафиксированы у сорта Люберская, достигая в среднем 27,84 см² за три года, и у сорта Молдавская ранняя – 24,91 см². В то же время сорта Надежда и Виктория показали меньшие размеры листьев, составив 22,43 и 24,47 см² соответственно. Средняя площадь листьев у изучаемых сортов груш составила от 1,5 до 2,4 м² в зависимости от конкретного сорта (см. табл. 3). В сравнении с контрольным вариантом (сорт Красивая) у сорта Надежда площадь листьев превышала контрольный показатель на 0,9 м², составив 2,4 м², в то время как у сорта Люберская этот показатель достиг 2,3 м².

*Таблица 3*

**Биометрические характеристики листьев у сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Biometric characteristics of leaves in pear varieties, average 2022–2024**

| Сорт | Площадь листа, см² | Площадь листьев одного дерева, м² | Площадь листьев на 1 га, м² |
|---|---|---|---|
| Красивая (к) | 24,58 | 1,5 | 2500 |
| Надежда | 22,43 | 2,4 | 2300 |
| Молдавская ранняя | 24,91 | 1,8 | 2400 |
| Виктория | 24,47 | 2,0 | 2700 |
| Люберская | 27,84 | 2,3 | 2600 |
| $НСР_{05}$ | 1,2 | | |

Было установлено, что площадь листьев, образованная на одном гектаре у сортов груши Красивая (к), Люберская и Виктория, в среднем за исследуемые годы составила 2500–2700 м²/га. У других сортов этот показатель оказался немного ниже, варьируя от 2300 до 2400 м²/га.

В аридных условиях Астраханской области исследования груши позволили классифицировать сорта по интенсивности роста и плотности кроны деревьев. К сортам с сильным ростом можно отнести Викторию и Красивую. Высота этих деревьев достигает 4,5 м и 4,1 м соответственно. Остальные сорта по уровню роста относятся к категории среднерослых деревьев, высота которых варьируется от 3,0 м до 3,9 м.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нехватка воды и засушливые условия представляют большую проблему для садоводства, особенно в регионах с нестабильным увлажнением. Засухоустойчивость плодовых культур играет ключевую роль в их выживании и продуктивности в таких условиях. Растения, обладающие высокой засухоустойчивостью, могут лучше сохранять свои физиологические функции в условиях жаркого климата. А также эффективно использовать доступную влагу и быстро восстанавливать водный баланс после дождя или полива.

Оценка засухоустойчивости сортов груши проводилась в сухую жаркую погоду. Оценка физиологического состояния растений осуществлялась методом искусственного завядания, позволяющим получить представление о механизмах адаптации растений к стрессовым условиям. Учеты проводились в третьей декаде июля в самый пик положительных температур воздуха.

В результате исследований все сорта груши отличались высокой устойчивостью к засухе. Чем выше значение, тем устойчивее сорт к обезвоживанию. Оводненность листьев у всех сортов груши составила 69,4–73,5 % (табл. 4). Высокие показатели оводненности были получены у сортов Молдавская ранняя – 73,5 %, Люберская – 71,0 %, Надежда – 70,6 % (в среднем за три года изучения). У сортов Красивая и Виктория показатели находились на уровне 69,4–69,9 % соответственно.

Водный дефицит – недостаток воды в клетках листьев в результате интенсивной водопотери воды через испарения. Чрезмерная потеря воды растениями приводит к образованию водного дефицита и нарушению водного режима. Наименьший водный дефицит отмечен у сортов Молдавская ранняя (43,7 %) и Виктория (45,6 %).

*Таблица 4*

**Показатели засухоустойчивости сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Drought resistance indicators of pear varieties, average for 2022–2024**

| Сорт | Показатель, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Оводненность листьев | Водный дефицит | Тургоресцентность | Водоудерживающая способность |
| Красивая (к) | 69,4 | 57,4 | 80,7 | 40,6 |
| Надежда | 70,6 | 64,9 | 94,3 | 37,4 |
| Молдавская ранняя | 73,5 | 43,7 | 98,0 | 26,2 |
| Виктория | 69,9 | 45,6 | 60,1 | 42,7 |
| Люберская | 71,0 | 59,2 | 70,5 | 28,9 |

Тургор является важным показателем внутреннего водного баланса. Чем выше тургор, тем лучше состояние растения и его способность противостоять неблагоприятным условиям. Сорта, находящиеся в изучении, отметились высокой тургоресцентностью листьев, она составила 70,5–98,0 %. У сорта Виктория этот параметр был несколько ниже: 60,1 %.

Важным показателем засухоустойчивости является свойство растения изменять водоудерживающую способность. Водоудерживающая способность характеризует сорт с точки зрения водопотери. Чем ниже показатель, тем сорт адаптивнее, устойчивее к атмосферным и почвенным засухам, тем он ценнее.

Из результатов проведенных исследований выяснилось, что среди сортов груши, способных противостоять обезвоживанию в аридных условиях, лидерами стали Молдавская ранняя (26,2 %), Люберская (28,9 %), Надежда (37,4 %).

Наряду с засухоустойчивостью важным фактором в определении общей адаптивной устойчивости растения к абиотическим факторам является жаростойкость (табл. 5).

*Таблица 5*

**Показатели жаростойкости сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Heat resistance indicators of pear varieties, average for 2022–2024**

| Сорт | Показатель, % | | |
|---|---|---|---|
| | Оводненность листьев | Водоудерживающая способность | Восстановление оводненности |
| Красивая (к) | 74,3 | 76,6 | 50,6 |
| Надежда | 71,5 | 57,3 | 76,1 |
| Молдавская ранняя | 72,8 | 61,2 | 51,0 |
| Виктория | 70,1 | 53,8 | 83,2 |
| Люберская | 72,4 | 68,7 | 69,8 |

При сравнительной оценке жаростойкости у исследуемых сортов груши выявлены некоторые различия по потере воды и степени восстановления оводненности листьев после теплового шока (+50 °С) и после 4-часового завядания. Из изучаемых сортов высокой жаростойкостью характеризовались сорта Надежда и Виктория. У них после воздействия теплового шока и завядания была меньшая потеря воды: 57,3 и 53,8 % соответственно. А при последующем насыщении восстановление оводненности у сорта Надежда составило 76,1 % и 83,2 % у сорта Виктория (см. табл. 5).

Средней жаростойкостью отметились сорта Красивая, Люберская, Молдавская ранняя. Потеря воды у этих сортов после теплового шока и подсушивания составляла 76,6, 68,7, 61,2 % соответственно. Степень восстановления оводненности была на уровне 50,6–69,8 %.

Таким образом, анализ проведенных лабораторных исследований по показателям водного режима в засушливых условиях Астраханской области показал, что наиболее оптимальной жаростойкостью характеризовались сорта Надежда и Виктория.

Урожайность может значительно колебаться в зависимости от сорта. Оценка плодоношения начиналась с момента, когда деревья вступали в период плодоношения. У сортов Виктория и Надежда зафиксировано единичное цветение уже в первый год после посадки. Все исследуемые сорта груш начали плодоносить на третий год. Регулярное плодоношение стало наблюдаться с пятого года роста деревьев.

В течение трех лет плодоношения сорт Виктория продемонстрировал высокую среднюю продуктивность, составившую 11,2 кг с дерева. Тогда как сорт Надежда достиг уровня в 9,6 кг с дерева, а Молдавская ранняя – 8,7 кг с дерева. В сравнении с этими сортами контрольный сорт Красивая показал продуктивность на уровне 7,8 кг с дерева (табл. 6).

*Таблица 6*

**Продуктивность сортов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Productivity of pear varieties, average for 2022–2024**

| Сорт | Продуктивность, кг/дер. | | | | Продуктивность средняя, кг/дер. | Удельная продуктивность, средняя за три года | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. | Средняя за 3 года | | с площади проекции кроны, кг/м$^2$ | с объема кроны, кг/м$^3$ | с площади сечения штамба, кг /см$^2$ |
| Красивая (к) | 5,7 | 7,8 | 9,8 | 7,8 | 7,8 | 3,2 | 1,9 | 0,60 |
| Надежда | 8,3 | 9,4 | 11,0 | 9,6 | 9,6 | 6,1 | 4,8 | 0,68 |
| Молдавская ранняя | 7,0 | 9,0 | 10,3 | 8,7 | 8,7 | 5,0 | 3,5 | 0,45 |
| Виктория | 10,5 | 11,2 | 12,0 | 11,2 | 11,2 | 5,6 | 4,9 | 0,79 |
| Люберская | 7,4 | 8,6 | 8,1 | 8,0 | 8,0 | 4,6 | 3,4 | 0,36 |
| $НСР_{05}$ | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |

Урожай сортов груши в течение трёхлетнего периода показал, что сорт Виктория достиг высокой продуктивности: 11,2 кг с дерева. Этот сорт превосходит на 3,4 кг контроль – сорт Красивая (7,8 кг с дерева). Продуктивность остальных сортов колебалась от 8,0 до 9,6 кг с дерева (см. табл. 6).

Площадь поперечного сечения ствола дерева служит важным индикатором его способности к росту. При оценке плодородности основными показателями являются удельная продуктивность: соотношение урожая к площади проекции и объему кроны, а также к площади поперечного сечения ствола.

При подсчете урожая на единицу проекции кроны высокая средняя удельная продуктивность на единицу площади проекции кроны отмечалась у сортов Надежда – 6,1 кг/м$^2$, Виктория – 5,6 кг/ м$^2$, Молдавская ранняя – 5,0 кг/м$^2$. Нагрузка плодами на единицу площади сечения штамба была более высокой у сортов Виктория (0,79 кг/ см$^2$) и Надежда (0,68 кг/см$^2$) по сравнению с контролем – сортом Красивая (0,60 кг/см$^2$). Низкие значения отметились у сортов Люберская – 0,36 кг/м$^2$, Молдавская ранняя – 0,45 кг/см$^2$.

Наибольшей продуктивностью характеризовались деревья груши сортов Молдавская ранняя, Надежда, Виктория (3,5–4,9 кг/м$^3$). Наименьший показатель удельной продуктивности был на контроле (Красивая – 1,9 кг/м$^3$) (см. табл. 6).

Почти все сорта имели плоды среднего и выше среднего размера. Крупноплодностью плодов отличились сорта Виктория – 315 г и Красивая (к) – 223 г.

Высокими показателями по высоте плодов груши отметились сорта Люберская – 11,0 см, Надежда – 10,1 см. С более мелкими плодами был сорт Молдавская ранняя 8,5 см (табл. 7). Вкусовые качества сортов имели высокий балл благодаря сочной мякоти и сладкому вкусу.

*Таблица 7*

**Товарные качества плодов груши, среднее за 2022–2024 гг.**
**Commercial qualities of pear fruits, average for 2022–2024**

| Сорт | Средняя масса плода, г | Средняя высота плода, см | Диаметр плода, см | Оценка вкуса, балл |
|---|---|---|---|---|
| Красивая (к) | 223 | 9,2 | 7,0 | 5,0 |
| Надежда | 189 | 10,1 | 9,5 | 5,0 |
| Молдавская ранняя | 170 | 8,5 | 7,2 | 4,5 |
| Виктория | 315 | 9,8 | 9,8 | 5,0 |
| Люберская | 196 | 11,0 | 10,0 | 4,8 |
| $НСР_{05}$ | | | | |

## ВЫВОДЫ

1. По итогам проведенных исследований выделены наиболее ценные по комплексу хозяйственных признаков сорта, которые отвечают требованиям современного интенсивного садоводства. К сильнорослым сортам в аридных условиях Астраханской области можно отнести Викторию и Красивую. Среди сортов груши, способных противостоять обезвоживанию в аридных условиях, лидерами стали Молдавская ранняя (26,2 %), Люберская (28,9 %), Надежда (37,4 %). По данным проведенных лабораторных исследований по показателям водного режима в засушливых условиях Астраханской области установлено, что наиболее оптимальной жаростойкостью характеризовались сорта Надежда и Виктория.

2. На основании трехлетних данных высокая продуктивность была зафиксирована у сортов груши Виктория, Надежда, Молдавская ранняя. Из изучаемых сортов максимальная масса и величина плодов отмечалась у сортов Виктория, Надежда, Люберская. Предложенные сорта груши являются перспективными для выращивания в условиях интенсивного сада Северного Прикаспия.

Исследования выполнены рамках реализации государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022-0009 «Изучить влияние элементов технологий на хозяйственно-биологические параметры интродуцированных сортов, подвоев семечковых и косточковых культур, ореха и винограда в аридных условиях Северного Прикаспия»).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Оплачко Р.А.* Хозяйственно-биологическая оценка слаборослых клоновых подвоев яблони для производства посадочного материала с высокой окулировкой: автореф. … канд. с.-х. наук. – Краснодар, 2019. – 46 с.
2. *Бабинцева Н.А.* Влияние формы кроны на ростовую активность и удельную продуктивность деревьев груши (purus communis l) на подвое айва ВА-29 в условиях Предгорного Крыма // Современное садоводство. – 2023. – № 3. – Режим доступа: https://journal-vniispk.ru/pdf/2023/3/24.pdf (дата обращения: 10.06.2025).
3. *Малий О.В., Косторнова О.В., Усов С.В.* Урожайность груши на подвое ВА-29 в Ставропольском крае // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 14. – С. 86–90. – DOI: 10.30679/2587-9847-2018-14-86-90. – EDN: YWTPXT.
4. *Сёмин И.В., Долматов Е.А., Ожерельева З.Е.* Перспективы использования подвоя интенсивного типа для возделывания садов груши в условиях Центральной России // Овощи России. – 2020. – № 5. – С. 75–80.
5. *Бабина Р.Д., Коваленко О.В., Чакалова Е.А.* Особенности роста и плодоношения некоторых сортов груши в условиях Крыма // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2023. – № 25 (2). – С. 170–176.
6. *Воробьев В.Ф., Куликов И.М., Джура Н.Ю.* Возделывание груши в интенсивных насаждениях различных схем размещения и конструкции крон // Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. 3-й Междунар. конф. – Екатеринбург, 2020. – С. 21–41. – EDN: LWWKLW.
7. *Бейахмедов И.А.* Продуктивность деревьев груши различных сорто-подвойных комбинаций // Аграрная наука. – 2017. – № 1. – С. 12–13. – EDN: YHYZGD.
8. *Седов Е.Н., Огольцова Т.П.* Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел, 1999. – С. 46–47.

9. *Предварительный* отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов: метод. рекоменд. / В.Г. Леонченко, Р.П. Евсеева, Е.В. Жбанова, Т.А. Черенкова. – Мичуринск, 2027. – 72 с.
10. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агрон. спец. – М., 2011. – 350 с.
11. *Куликов И.М., Минаков И.А.* Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 1 (56). – С. 9–15.
12. *Шашко Д.И.* Условия перезимовки растений. Агроклиматическое районирование СССР. – М.: Колос, 1967. – С. 99–104.
13. *Гусейнова Б.М., Абдулгамидов М.Д.* Хозяйственно ценные признаки и товарно-потребительские свойства новых сортов и гибридных форм черешни в условиях Дагестана // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 23 (5). – С. 685–696. – DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.685-696.
14. *Туть С.А.* Урожайность сортов груши в зависимости от плотности размещения // Биологические основы садоводства и овощеводства: мат-лы Междунар. конф. с элементами науч. шк. для молодежи. – Мичуринск, 2010. – С. 332–335.

## REFERENCES

1. Oplachko R.A., *Khozyaystvenno-biologicheskaya otsenka slaboroslykh klonovykh podvoev yabloni dlya proizvodstva posadochnogo materiala s vysokoy okulirovkoy* (Economic and biological assessment of dwarf clonal apple rootstocks for the production of planting material with high budding), Abstract of Cand. Sci. (Agriculture), Krasnodar, 2019, 46 p.
2. Babintseva N.A., *Sovremennoe sadovodstvo*, 2023, No. 3, Access mode: https://journal-vniispk.ru/pdf/2023/3/24.pdf. (In Russ.).
3. Maliy O.V., Kostornova O.V., Usov S.V., *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*, 2018, Vol. 14, pp. 86–90, DOI: 10.30679/2587-9847-2018-14-86-90. EDN:YWTPXT. (In Russ.).
4. Semin I.V., Dolmatov E.A., Ozherelieva Z.E., *Ovoshchi Rossii*, 2020, No. 5, pp. 75–80, Access mode: file:///C:/Users/255/Downloads/352-Text%20article-1343-2-10-20240328.pdf. (In Russ.).
5. Babina R.D., Kovalenko O.V., Chakalova E.A., *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*, 2023, No. 25 (2), pp. 170–176, Access mode: file:///C:/Users/255/Downloads/352-Text%20article-1343-2-10-20240328.pdf. (In Russ.).
6. Vorobyev V.F., Kulikov I.M., Dzhura N.Yu., *Aktual'nye voprosy sadovodstva i kartofelevodstva* (Topical issues of horticulture and potato growing), Conference proceedings, Yekaterinburg, 2020, pp. 21–41, https://EDN:LWWKLW. (In Russ.).
7. Beyakhmedov I.A., *Agrarnaya nauka*, 2017, No. 1, pp. 12–13, https://EDN:YHYZGD (In Russ.).
8. Sedov E.N., Ogoltsova T.P., *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops), Orel, 1999, pp. 46–47.
9. Leonchenko V.G., Evseeva R.P., Zhbanova E.V., Cherenkova T.A., *Predvaritel'nyy otbor perspektivnykh genotipov plodovykh rasteniy na ekologicheskuyu ustoychivost' i biokhimicheskuyu tsennost' plodov* (Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for environmental sustainability and biochemical value of fruits), Michurinsk, 2027, 72 p.
10. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow, 2011, 350 p.
11. Kulikov I.M., Minakov I.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2017, No. 1 (56), pp. 9–15. (In Russ.).
12. Shashko D.I., *Usloviya perezimovki rasteniy. Agroklimaticheskoe rayonirovanie SSSR* (Conditions of overwintering plants. Agro-climatic zoning of the USSR), Moscow: Kolos, 1967, pp. 99–104.
13. Guseynova B.M., Abdulgamidov M.D., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 23 (5), pp. 685–696, DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.685-696. (In Russ.).
14. Tut S.A., *Biologicheskie osnovy sadovodstva i ovoshchevodstva* (Biological foundations of horticulture and vegetable growing), Materials of the International. conf. with elements of a scientific school for youth, Michurinsk, 2010, pp. 332–335. (In Russ.).

**Информация об авторе:**
*Н.И. Матвеева,* кандидат педагогических наук

**Contribution of the author:**
*N.I. Matveeva,* Candidate of Pedagogical Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-137-142
УДК 635.925: (470.57-25)

# ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЛИСТЬЕВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *COTINUS* MILL. НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

**Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова**

*Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук*

**E-mail:** barhan93@yandex.ru

**Для цитирования:** *Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В.* Водный режим листьев некоторых представителей рода *Cotinus* Mill. на Южном Урале // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 137–142. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-137-142.

**Ключевые слова:** *Cotinus,* водный режим листьев, засухоустойчивость, водоудерживающая способность, подвижная влага, Республика Башкортостан.

**Реферат.** *Водный режим растений включает в себя такие жизненно важные свойства, как общая оводненность листьев, водоудерживающая способность и количество подвижной воды. Определение параметров этих показателей помогает оценить степень адаптации видов и сортов при выращивании в новых регионах. Цель данной работы – сравнительная оценка устойчивости некоторых таксонов рода Cotinus к засухе и выделение наиболее пригодных для нужд декоративного садоводства в условиях Башкирского Предуралья. Объектами исследований стали четыре таксона скумпии из коллекции Южно-Уральского ботанического сада-института Уфимского федерального исследовательского центра РАН: Cotinus coggygria, C. coggygria Royal Purple, C. obovatus и C. ×obovatus (вид гибридного происхождения). Установлено, что максимальное значение общей оводненности тканей листьев различных таксонов рода Cotinus составляет около 63 % и зафиксировано у двух таксонов – C. coggygria и гибридного вида C. ×obovatus. Наиболее высокие показатели засухоустойчивости зафиксированы у сорта C. coggygria Royal Purple – водоудерживающая способность 37 % и количество подвижной влаги 25 %. При этом данный таксон имеет пониженную по сравнению с другими таксонами скумпии зимостойкость (II балла). Все изученные таксоны рода Cotinus проявили достаточную засухоустойчивость в условиях Южного Урала и могут быть рекомендованы для целей декоративного садоводства в Башкирском Предуралье и сопредельных территориях.*

# WATER REGIME OF LEAVES OF SOME REPRESENTATIVES OF THE GENUS COTINUS MILL. IN THE SOUTHERN URALS

**F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova**

*South Ural Botanical Garden-Institute is a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences*

**E-mail:** barhan93@yandex.ru

**Keywords:** *Cotinus*, leaf water regime, drought resistance, water-holding capacity, mobile moisture, Republic of Bashkortostan.

**Abstract.** *The water regime of plants includes such vital properties as the total water content of leaves, water-holding capacity and the amount of mobile water. Determination of the parameters of these indicators helps to assess the degree of adaptation of species and varieties when grown in new regions. The aim of this work is to comparatively assess the resistance of some taxa of the genus Cotinus to drought and to select the most suitable for the needs of ornamental gardening in the conditions of the Bashkir Cis-Urals. The objects of the study were 4 taxa of Cotinus from the collection of the South Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences: Cotinus coggygria, C. coggygria 'Royal Purple', C. obovatus and C. ×obovatus (a hybrid species). It was found that the maximum value of the total water content of leaf tissues of various taxa of the genus Cotinus is about 63 % and is recorded in two taxa – C. coggygria and the hybrid species C. ×obovatus. The highest drought resistance rates were recorded for the C. coggygria 'Royal Purple' variety - water retention capacity of 37 % and mobile moisture content of 25 %. At the same time, this taxon has reduced winter hardiness compared to other smoke tree taxa (II points). All studied taxa of the genus Cotinus showed sufficient drought resistance in the conditions of the Southern Urals and can be recommended for ornamental gardening in the Bashkir Cis-Urals and adjacent territories.*

В последние годы с развитием индустрии ландшафтного дизайна все более возрастает ассортимент декоративных растений, завозимых из других регионов для нужд декоративного садоводства. Основной задачей ботанических садов является изучение биологических особенностей и адаптационных возможностей новых видов и сортов для дальнейшего включения их в список ассортимента декоративных растений региона. Влага является одним из важнейших факторов нормальной жизнедеятельности большинства растений. Чем выше способность растения удерживать влагу в своих тканях, тем выше его засухоустойчивость, а следовательно, и адаптированность к неблагоприятным условиям [1, 2]. Кроме данного свойства растения обладают еще такими, как общая оводненность и количество подвижной влаги, а все три показателя характеризуют такое важное свойство, как водный режим растения [3].

Род Скумпия (*Cotinus* Mill., сем. Анакардиевые – Anacardiaceae Lindl.) – листопадные деревья или кустарники до 12 м высотой с шаровидной или зонтиковидной кроной. Ареал распространения скумпии довольно обширен – от Черноморского побережья до Гималаев в Восточном полушарии и юго-восточная часть Америки в Западном. К роду относятся два вида: *Cotinus obovatus* Raf. (скумпия обратнояйцевидная, или с. американская) и *C. cogyggria* Scop. (скумпия кожевенная, или с. обыкновенная) [4]. Необычную декоративность растение приобретает в период цветения. Цветки мелкие, в рыхлых конечных метелках с многочисленными недоразвитыми цветками на удлиненных цветоножках, покрытых длинными оттопыренными красноватыми или зеленоватыми волосками. Большое количество метелок становятся пушистыми и весьма декоративными, как будто растение надело необычный парик или укрылось сизовато-розово-красным облаком, из-за чего растение получило название «париковое дерево» [5]. Кроме декоративных свойств, скумпия обладает ценными лекарственными: во многих странах отвары ее листьев, коры и ветвей используются в официальной и народной медицине как жаропонижающее, гемостатическое, вяжущее, также растение используют для лечения раковых и кожных заболеваний [6].

В Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского федерального исследовательского центра РАН (ЮУБСИ УФИЦ РАН) некоторые таксоны рода *Cotinus* культивируются с 2008 г. Здесь же проводятся многолетние исследования биологических особенностей скумпий в условиях Южного Урала наряду с другими декоративными древесными растениями [7, 8].

Цель исследований – сравнительная оценка устойчивости некоторых таксонов скумпии к засухе и выделение наиболее пригодных для нужд декоративного садоводства в условиях Башкирского Предуралья.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты по изучению водного режима скумпий проводились в июле–сентябре 2024 г. Объектами исследования были два вида, один сорт и один гибрид скумпии из коллекции ЮУБСИ: *Cotinus coggygria*, *C. coggygria* ‘Royal Purple’, *C. obovatus* и *C. ×obovatus*. Гибрид получен из семян *C. obovatus* и имеет внешние отличия от родительской формы по окраске листьев. Приведем краткую характеристику изученных таксонов.

*Cotinus coggygria* (скумпия кожевенная) – кустарник до 3 м высотой, иногда может достигать 5 м. Побеги бурого цвета, молодые побеги голые, красноватой или зеленоватой окраски. Листья цельнокрайние, гладкие, расположены очередно. Соцветия крупные, до 30 см длиной, состоят из обоеполых цветков светло-зеленого или светло-желтого цвета. Плоды – сухая костянка. Ареал распространения: горные склоны Гималаев, Крым, Передняя Азия, Китай, Средиземноморье, Кавказ. В коллекции ЮУБСИ имеется два экземпляра. За вегетационный сезон полностью проходит все фенологические фазы. Всхожесть семян 63–72 %. Зимостойкость высокая (I балл).

*Cotinus coggygria* Royal Purpl (скумпия кожевенная Royal Purpl) – листопадный кустарник высотой до 3 м. Побеги коричневые, молодые гладкие, красно-коричневые. Листья очередные, гладкие, цельнокрайние, коричневато-красной окраски, осенью окраска почти не меняется, появляется бледно-синий металлический оттенок. Соцветия некрупные, около 10 см длиной, ярко-красной окраски. Однолетние побеги отрастают до 100 см. В коллекции два экземпляра. В условиях Ботанического сада однолетние побеги не успевают полностью одревеснеть и каждый год отмечается обмерзание на 50 % однолетних побегов. Зимостойкость снижена (II балла).

*Cotinus obovatus* (скумпия обратнояйцевидная) – листопадный кустарник до 3 м высотой, крона округлая, компактная. Побеги светло-бурого цвета, молодые гладкие, бледно-зеленые. Листья обратнояйцевидные, простые, голубовато-зеленые, гладкие. Соцветия – некрупные метелки до 12–15 см длиной. Плоды – гладкие костянки светло-коричневого оттенка. Ареал распростране-

ния юго-восточная часть Америки. В коллекции ЮУБСИ 2 экземпляра. Полностью проходит все фенологические фазы. Всхожесть семян 79 %. Зимостойкость высокая (I балл).

*Cotinus* ×*obovatus* (скумпия обратнояйцевидная гибрид) – раскидистый листопадный кустарник. Побеги бурого цвета, молодые светло-зеленые. Листья обратнояйцевидные, гладкие, окраска листьев переходящая: у основания листовой пластинки (1/3) голубовато-зеленая, остальная часть – коричнево- красная, осенью окраска листьев меняется на более однотонную коричнево- красную. Растения еще не вступили в генеративную стадию. Зимостойкость высокая (I балл).

Климат района исследования (г. Уфа, Башкирское Предуралье, северная лесостепь) – умеренно континентальный, характеризуется неустойчивостью по годам, значительной амплитудой колебаний, длительной суровой зимой, теплым жарким летом, частым приходом поздних весенних и ранних осенних заморозков [9]. В Башкирском Предуралье зима нередко протекает с оттепелями, что может отрицательно сказываться на состоянии даже зимостойких растений. В г. Уфа среднемноголетняя температура воздуха составляет +3,0…+3,8 °С, средняя температура января −12,4…−14,5 °С, абсолютный минимум достигает −48,5 °С; зимой нередко наблюдаются оттепели, безморозный период длится в среднем 144 дня. Средняя температура июля +19,5 °С (от +17,1 до +21,4 °С), абсолютный максимум зафиксирован на уровне +40 °С. Климат достаточно влажный: среднегодовое количество осадков составляет 500–590 мм, в том числе около 350 мм в теплый период (максимум приходится на июнь-июль). Снежный покров устанавливается в ноябре и держится в среднем 155 сут [10]. Лето 2024 г. характеризовалось средними температурами: июль +28 °С, август +21 °С, сентябрь +20 °С; максимальное количество дождливых дней отмечено в июле и августе (27 и 21 соответственно) [11].

Параметры водного режима (общую оводненность, водоудерживающую способность и содержание подвижной влаги) определяли по существующим методикам [3, 12]. Для опыта отбирали по десять листовых пластинок каждого таксона 3 мес. подряд (июль – сентябрь, период цветения и созревания плодов у скумпии) и взвешивали их. Пробы листьев оставляли при комнатной температуре в темном месте для обезвоживания. Повторное взвешивание проводили через 24 ч. Далее образцы в течение 2 ч выдерживали в сушильном шкафу при температуре +105 °С и снова определяли вес. Рассчитывали в пробах по формулам:

$$W = 100 \times (M - M_1) / M;$$
$$R = 100 \times (M_1 - M_2) / M;$$
$$L = W - R$$

где $W$ – общая оводненность; $R$ – водоудерживающая способность; $L$ – содержание подвижной влаги; $M$ – масса свежей пробы; $M_1$ − масса пробы спустя сутки; $M_2$ − масса пробы после высушивания в сушильном шкафу.

Всхожесть семян определяли согласно ГОСТ 13056.6–97 [13].

Зимостойкость растений определяли по методике Главного ботанического сада РАН [14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно вышеописанной методике получены данные по параметрам водного режима листьев различных таксонов рода *Cotinus* за три месяца наблюдений (таблица). Вычислены значения общей оводненности листьев, их водоудерживающей способности и количество подвижной влаги в них.

**Параметры водного режима листьев таксонов *Cotinus***
**Water regime parameters of leaves of Cotinus taxa**

| Таксон | Месяц | Показатель водного режима, % | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Общая оводненность *W* | Водоудерживающая способность *R* | Подвижная влага *L* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Cotinus coggy*gria | Июль | 66,4 | 34,9 | 31,5 |
| | Август | 61,8 | 21,1 | 40,7 |
| | Сентябрь | 61,7 | 22,2 | 39,4 |
| | **Среднее** | **63,3±1,55** | **26,0±4,42** | **37,2±2,87** |

*Окончание таблицы*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| *Cotinus coggygria* ‘Royal Purple’ | Июль | 65,4 | 38,6 | 26,8 |
| | Август | 62,4 | 33,3 | 29,1 |
| | Сентябрь | 57,5 | 39,6 | 17,9 |
| | **Среднее** | **61,7±2,30** | **37,1±1,95** | **24,6±3,41** |
| *Cotinus obovatus* | Июль | 62,9 | 35,3 | 27,6 |
| | Август | 59,2 | 36,9 | 22,3 |
| | Сентябрь | 59,6 | 33,7 | 25,8 |
| | **Среднее** | **60,5±1,17** | **35,3±0,92** | **25,2±1,55** |
| *Cotinus ×obovatus* | Июль | 64,5 | 29,3 | 35,2 |
| | Август | 62,4 | 25,4 | 37,0 |
| | Сентябрь | 62,4 | 37,5 | 24,8 |
| | **Среднее** | **63,1±0,70** | **30,7±3,56** | **32,3±3,80** |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Уровень общей оводненности тканей прямо пропорционален высокой засухоустойчивости растения. По нашим данным (см. таблицу), наибольшим процентом оводненности обладают *Cotinus coggygria* и *C. ×obovatus* (в среднем 63,3 и 63,1 % соответственно). Минимальная среди исследованных таксонов оводненность листьев отмечена у *C. obovatus* – 60,5 %. В июле общая оводненность варьирует в пределах от 62,9 до 66,4 %. Учитывая тот факт, что в июле выпало рекордное количество осадков (2,5 месячной нормы), этот показатель общей оводненности листьев можно считать максимальным для скумпии. В августе осадков выпало меньше, соответственно у всех исследуемых таксонов наблюдается снижение показателей общей оводненности: самый низкий у *C. obovatus* (59,2 %), у остальных таксонов близкие значения (от 61,8 до 62,4 %). Характеристика общей оводненности представителей скумпий в сентябре по сравнению с августом остались практически без изменения.

Водоудерживающая способность (ВУС) характеризует свойство растений удерживать воду в тканях при воздействии водоотнимающего фактора [15]. В июле самые низкие показатели водоудерживающей способности отмечены у *C. ×obovatus* (29,3 %), в августе этот показатель уменьшается на 3,9 % (25,4 %), видимо, это связано с большим запасом воды в тканях. В сентябре количество осадков резко снижается, и водоудерживающая способность у данного таксона повышается на 12,1 % (37,5 %). Максимальное значение ВУС зафиксировано у *C. coggygria* Royal Purple в июле (38,6 %), затем в августе уровень падает на 5,3 % (33,3 %), а в сентябре повышается на 6,3 % (39,6 %). Промежуточное положение занимают два таксона: у *C. coggygria* в июле значение водоудерживающей способности зафиксировано на уровне 34,9 %, у *C. obovatus* – 35,3 %. Последний таксон отличается от всех остальных по характеру изменения показателей ВУС: если в сентябре у других таксонов ВУС повышается, то у *C. obovatus* этот показатель понижается на 3,2 % (33,7 %). Если сравнивать наши данные с таковыми в других регионах, то, например, ВУС *C. coggygria* в условиях Оренбуржья выше (38,7 %), чем в Уфе (в среднем 26,0 %) [16], что объясняется более засушливыми условиями Оренбургской области.

Показатель содержания подвижной влаги обратно пропорционален показателю водоудерживающей способности: чем больше растение отдает воды в засушливый период, тем ниже его засухоустойчивость. По средним данным, наименьший показатель подвижной влаги отмечен у *C. coggygria* ‘Royal Purple’ (24,6 %) и *C. obovatus* (25,2 %), а наибольший – у *C. coggygria* (37,2 %).

В целом полученные параметры позволяют судить об устойчивости изученных таксонов скумпии к засухе в условиях г. Уфа и могут быть рекомендованы для использования в озеленении населенных пунктов Республики Башкортостан.

## ВЫВОДЫ

1. Благодаря дождливым условиям летнего периода 2024 г. удалось определить максимальное значение общей оводненности тканей листьев различных таксонов рода *Cotinus* в коллекции

ЮУБСИ. Максимальное значение данного параметра составляет около 63 % и зафиксировано у двух таксонов – *C. coggygria* и гибридного вида *C. ×obovatus*.

2. Наиболее высокие показатели засухоустойчивости зафиксированы у сорта *C. coggygria* Royal Purple: водоудерживающая способность 37 % и количество подвижной влаги 25 %. При этом данный таксон имеет пониженную по сравнению с другими таксонами скумпии зимостойкость (II балла).

3. Таким образом, все изученные таксоны рода *Cotinus* коллекции ЮУБСИ проявили достаточную засухоустойчивость в условиях Южного Урала и могут быть рекомендованы для целей декоративного садоводства в Башкирском Предуралье и сопредельных территорий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Генкель П.А.* Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. – М.: Наука, 1982. – 280 с.
2. *Хаустович И.П., Пугачев Г.Н.* Водоудерживающая способность как показатель адаптивности растений // Доклады РАСХН. – 2009. – № 4. – С. 17–20.
3. *Гусев Н.А.* Физиология водообмена растений. – Казань, 1966. – 136 с.
4. *Соколов С.Я.* Род 4. Скумпия – *Cotinus* Adans // Деревья и кустарники СССР. – Т. 4. – М.; Л., 1956. – С. 319–323.
5. *Оксантюк В.М., Колдар Л.А.* Перспективы интродукции *Cotinus obovatus* Raf. в условиях Правобережной лесостепи Украины // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2018. – № 2. – С. 205–210.
6. *Гриценко А.И., Попова О.И.* Химический состав и биологическая активность листьев скумпии кожевенной // Фармация. – 2014. – № 1. – С. 54–56.
7. *Ассортимент* красивоцветущих кустарников и деревянистых лиан ботанического сада в г. Уфе (Башкирское Предуралье) / В.П. Путенихин, Л.С. Никитина, Н.В. Полякова, И.Ф. Сабирова // Овощеводство и плодоводство Урала: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 70-летию со дня рожд. засл. деят. науки РФ проф. А.Н. Папонова. – Пермь, 2001. – С. 109–111.
8. *Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В.* Параметры засухоустойчивости некоторых представителей рода *Tilia* L. при интродукции и в городских насаждениях // Аграрный вестник Урала. – 2023. – № 5 (234). – С. 72–82.
9. *Агроклиматическое* районирование Республики Башкортостан [Электронный ресурс]. URL: http://www.meteorb.ru / agrometeorologiya/agroklimaticheskoe-rajonirovanie-respubliki-bashkortostan (дата обращения: 02.12.2024).
10. *Кираев Р.С., Амирханов Д.В., Леонтьев И.П.* Башкортостан: климат, почвы, культуры, сорта. – Уфа, 2015. – С. 5–47.
11. *Погода* по месяцам в Уфе, Россия на 2024 [Электронный ресурс]. URL: https://ru-meteo.com/ufa/po-mesyacam (дата обращения: 02.12.2024).
12. *Таренков В.А., Иванова Л.Н.* Водоудерживающая способность листьев боярышника в связи с устойчивостью к засухе // Интродукция, акклиматизация, охрана и использование растений. – Куйбышев, 1990. – С. 3–9.
13. *ГОСТ 13056.6–97*. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. – Минск, 1998. – 30 с.
14. *Древесные* растения Главного ботанического сада АН СССР / П.И. Лапин, М.С. Александрова, Н.А. Бородина [и др.]. – М.: Наука, 1975. – 547 с.
15. *Тимошенкова Т.А., Ващенко Ю.С.* Водоудерживающая способность сортов *Triticum aestivum* оренбургской селекции // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (86). – С. 37–40.
16. *Ковердяева И.В.* Изучение засухоустойчивости листьев экзотов в условиях Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2005. – № 1 (5). – С. 94.


## REFERENCES


1. Genkel' P.A., *Fiziologiya zharo- zasuhoustojchivosti rastenij* (Physiology of heat and drought resistance in plants), Moscow: Nauka, 1982, 280 p.
2. Haustovich I.P., Pugachev G.N., *Doklady RASKHN*, 2009, No. 4, pp. 17-20. (In Russ.)
3. Gusev N.A., *Fiziologiya vodoobmena rastenij* (Physiology of water exchange in plants), Kazan': KGU, 1966, 136 p.
4. Sokolov S.YA., *Derev'ya i kustarniki SSSR, Vol. 4*, Moscow-Leningrad, 1956, pp. 319–323. (In Russ.)
5. Oksantyuk V.M., Koldar L.A., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2018, No. 2, pp. 205–210. (In Russ.)
6. Gricenko A.I., Popova O.I., *Farmaciya*, 2014, No. 1, pp. 54–56. (In Russ.)
7. Putenihin V.P., Nikitina L.S., Polyakova N.V., Sabirova I.F., *Ovoshchevodstvo i plodovodstvo Urala* (Vegetable and fruit growing in the Urals), Proceedings of the Conference Title, Perm', 2001, pp. 109–111. (In Russ.)
8. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2023, No. 5 (234), pp. 72–82, DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-72-82. (In Russ.)

9. *Agroklimaticheskoe rajonirovanie Respubliki Bashkortostan*, URL: http://www.meteorb.ru / agrometeorologiya/ agroklimaticheskoe-rajonirovanie-respubliki-bashkortostan (date of the application: 02.12.2024).
10. Kiraev R.S., Amirhanov D.V., Leont'ev I.P., *Bashkortostan: klimat, pochvy, kul'tury, sorta* (Bashkortostan: climate, soils, crops, varieties), Ufa, 2015, pp. 5–47.
11. *Pogoda po mesyacam v Ufe, Rossiya na 2024*, URL: https://ru-meteo.com/ufa/po-mesyacam (date of the application: 02.12.2024).
12. Tarenkov V.A., Ivanova L.N., *Introdukciya, akklimatizaciya, ohrana i ispol'zovanie rastenij*, Kujbyshev, 1990, pp. 3–9. (In Russ.)
13. *GOST 13056.6-97. Semena derev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti* (Tree and Shrub Seeds. Method for Determining Germination), Minsk, 1998, 30 p. (In Russ.)
14. Lapin P.I., Aleksandrova M.S., Borodina N.A. i dr., *Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR* (Tree and Shrub Seeds. Method for Determining Germination), Moscow: Nauka, 1975, 547 p. (In Russ.)
15. Timoshenkova T.A., Vashchenko YU.S., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 6 (86), pp. 37–40, DOI: 10.37670/2073-0853-2020-86-6-37-41. (In Russ.)
16. Koverdyaeva I.V., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2005, No. 1 (5), p. 94. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*Ф.К. Мурзабулатова,* кандидат биологических наук
*Н.В. Полякова,* кандидат биологических наук

**Contribution of the authors:**
*F.K. Murzabulatova,* candidate of Biological Sciences
*N.V. Polyakova,* candidate of Biological Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-143-149
УДК 579.64:633.11

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕ В ГОДЫ С РАЗНОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ

**[1,2]А.А. Побеленская, [1,3]Л.Н. Коробова, [1]К.В. Павлова**

*[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

*[2]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

*[3]Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Пущинский филиал, г. Пущино Московской области, Россия*

**E-mail:** pobelenskayan@mail.ru

**Для цитирования:** *Побеленская А.А., Коробова Л.Н., Павлова К.В.* Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице в годы с разной влагообеспеченностью // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 143–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-143-149.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, биопрепараты на основе *Bacillus*, гумат, обработка семян, корневая гниль, урожайность зерна.

**Реферат.** *Представлены результаты трехлетней оценки влияния препаратов на основе Bacillus, использованных для обработки семян яровой пшеницы, на развитие корневой гнили и продуктивность культуры. Опыты проводились в северной лесостепи Приобья в 2019 и 2021–2022 гг. как полевые. Из трех лет исследований два года были с умеренной влажностью с ГТК по Селянинову 1,02 и 0,91, а 2022 г. – засушливым с ГТК = 0,69. Изучено действие на сорт яровой пшеницы Новосибирская 31 Фитопа 8.67-9 на основе бактерий B. subtilis и B. amyloliquefaciens с КОЕ $10^9$, а также бактериально-гуминового препарата АФГ (смеси Фитопа 8.67-9 и Цитогумата с титром $10^7$ КОЕ) в сравнении с химическим протравителем на основе дифеноконазола и ципроконазола и Цитогуматом. Цитогумат сделан из бурого угля и содержит калиевые и натриевые гуминовые кислоты, N, P, K, Ca, Mg, S и микроэлементы. Показано, что бактериальный Фитоп 8-67.9 и бактериально-гуминовый препарат АФГ, использованные для обработки семян, снижали их зараженность возбудителями корневой гнили Fusarium и Bipolaris sorokiniana до уровня порога вредоносности и ниже и уменьшали пораженность болезнью первичных корней растений к кущению в 1,6–3,5 раза. В годы с умеренной влагообеспеченностью биологическая эффективность биопрепаратов была сравнима с химическим протравителем на основе дифеноконазола и ципроконазола, в засушливый год уступала ему. Урожайность зерна яровой пшеницы в годы с ГТК = 0,9–1,0 изменялась в ряду: препараты с бациллами (прибавка к контролю ≈ 20 %) > Цитогумат (+10 %) > химический эталон (+5,5 %). В засушливую вегетацию урожайность зерна яровой пшеницы (второй культурой после пара) была выше на 30–38 % на химическом протравителе.*

# EFFICACY OF BIOPREPARATIONS ON SPRING WHEAT UNDER VARIABLE MOISTURE CONDITIONS

**[1,2]A.A. Pobelenskaya, [1,3]L.N. Korobova, [1]K.V. Pavlova**

*[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

*[2]Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

*[3]Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Pushchino branch, Pushchino, Moscow Region, Russia*

**E-mail:** pobelenskayan@mail.ru

**Keywords:** spring wheat, Bacillus-based biopreparations, humate, seed treatment, root rot, grain yield.

**Abstract.** *The results of a three-year assessment of the effect of Bacillus-based preparations used to treat spring wheat seeds on the development of root rot and crop productivity are presented. The experiments were conducted in the northern forest-steppe of the Ob region in 2019 and 2021–2022 as field experiments. Of the three years of research, two years were moderately humid with a GTC according to Selyaninov of 1.02 and 0.91, while 2022 was dry with a GTC of 0.69. The effect of Fitop 8.67-9 based on B. subtilis and B. amyloliquefaciens bacteria with 109 CFU, as well as the bacterial-humic preparation AFG (a mixture of Fitop 8.67-9 and Cytogumate with a titer of 107 CFU), was studied on the Novosibirskaya 31 spring wheat variety, in comparison with a chemical*

*fungicide based on difenoconazole and cyproconazole, and Cytogumate. Cytogumate is made from brown coal and contains potassium and sodium humic acids, N, P, K, Ca, Mg, S, and trace elements. It has been shown that bacterial Fitop 8-67.9 and bacterial-humic preparation AFG, used for seed treatment, reduced their infection with pathogens. It was shown that the bacterial preparation Fitop 8-67.9 and the bacterial-humic preparation AFG, used for seed treatment, reduced the infestation of seeds by the root rot pathogens Fusarium and Bipolaris sorokiniana to the threshold of harmfulness or lower, and reduced the disease incidence of the primary roots of plants by 1.6–3.5 times. In years with moderate moisture availability, the biological efficiency of biological products was comparable to that of a chemical fungicide based on difenoconazole and ciproconazole, but it was inferior in a dry year. The grain yield of spring wheat in years with GTC = 0.9–1.0 varied in the following order: products with Bacillus (approximately 20 % increase over the control) > Cytogumate (+10 %) > chemical reference (+5.5 %). In dry vegetation, the yield of spring wheat (the second crop after fallow) was 30–38 % higher on chemical seed treatment.*

Яровая пшеница – важная полевая культура в регионах с относительно коротким летом и резко континентальными климатическими условиями. Значительные экономические потери и снижение качества зерна яровой пшеницы здесь связаны с повсеместным распространением грибных инфекций [1], что актуализирует такой метод управления ее урожайностью, как предпосевная обработка семян. Прием помогает повысить всхожесть растений, защитить их от болезней на ранних стадиях развития и стимулировать рост зародышевых корней и стебля.

На юге Западной Сибири семена яровой пшеницы инфицированы *Bipolaris sorokiniana* Shoem., грибами родов *Fusarium* L. (вызывают корневую гниль *root-root* и гнили смешанной этиологии), *Ustilago tritici* (Pers.) Jens, *Septoria nodorum* Berk. (возбудители пыльной головни и септориоза) и *Alternaria* Nees [2–3].

Эффективная борьба с ними обычно включает сочетание химической обработки семян и агротехнических приемов. Альтернативой химической обработке семян может стать их инокуляция биопрепаратами, зарегистрированными как биопестициды или биоудобрения. Они обеспечивают здоровые всходы, улучшают энергию прорастания семян и полевую всхожесть, а также пищевую ценность зерновой продукции [4].

Среди биологических протравителей в относительно засушливой Южной Сибири наиболее эффективными считаются препараты на основе бактерий *Bacillus*. Бациллы долго сохраняются в почве в виде спор, продуцируют антагонистические соединения разной химической природы, а также стимулируют системную устойчивость растений к патогенным микроорганизмам [5–6]. Как антагонисты они контролируют корневые инфекции, в частности, ограничивают развитие и распространение корневой гнили [7–9].

Заболеваемость яровой пшеницы корневыми гнилями и их вредоносность сильно зависят от влагообеспеченности вегетации. Засушливые условия способствуют доминированию в патогенном комплексе почв Западной Сибири возбудителя обыкновенной гнили *B. sorokiniana*, влажные – фузариев. Из-за засухи в момент закладки колоса (фазы кущения и выхода в трубку) снижается зерновая продуктивность яровой пшеницы, что усугубляется развитием корневых инфекций. Все это делает важным оценку биологической и хозяйственной эффективности инокуляции семян бактериальными и гуминовыми препаратами в условиях разной почвенной влажности.

Цель данной работы – изучить действие биопрепаратов для обработки семян на основе *Bacillus* в сравнении с химическим эталоном на заболеваемость и продуктивность яровой пшеницы в годы с разной влагообеспеченностью.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования провели на опытном поле Новосибирского государственного аграрного университета (северная лесостепь) в Новосибирской области. Опыты закладывали как полевые с площадью делянок на вариант 0,4 и более гектаров. Высевали яровую пшеницу сорта Новосибирская 31 с нормой 6 млн семян/га. В 2019 г. изучали первую культуру после пара, в 2021–2022 гг. вторую культуру. Агротехника в опытах была классической для зоны, с отвальной обработкой почвы. Перед посевом под вторую культуру вносили 18 кг д.в./га аммиачной селитры. В фазу кущения опыты обрабатывали баковыми смесями гербицидов против двудольных и однодольных сорняков.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный, среднегумусный, среднесуглинистый с нейтральной реакцией среды.

Схема опыта: 1) контроль, без протравливания семян; 2) Фитоп 8.67-9, 1,6 мл/т; 3) АФГ,

0,33 л/т; 4) Цитогумат, 0,33 л/т; 5) химический эталон – дифеноконазол + ципроконазол, 30+6,3 г/л, 1 л/ т.

Фитоп 8.67-9 – препарат на основе одного штамма *B. subtilis* и двух *B. amyloliquefaciens* с КОЕ $10^9$. Цитогумат – препарат из бурого угля, с калиевыми, натриевыми гуминовыми кислотами, фульвовой кислотой, N, P, K, Ca, Mg, S и девятью микроэлементами. АФГ – смесовый препарат из Фитопа 8.67 и Цитогумата с титром $10^7$ КОЕ.

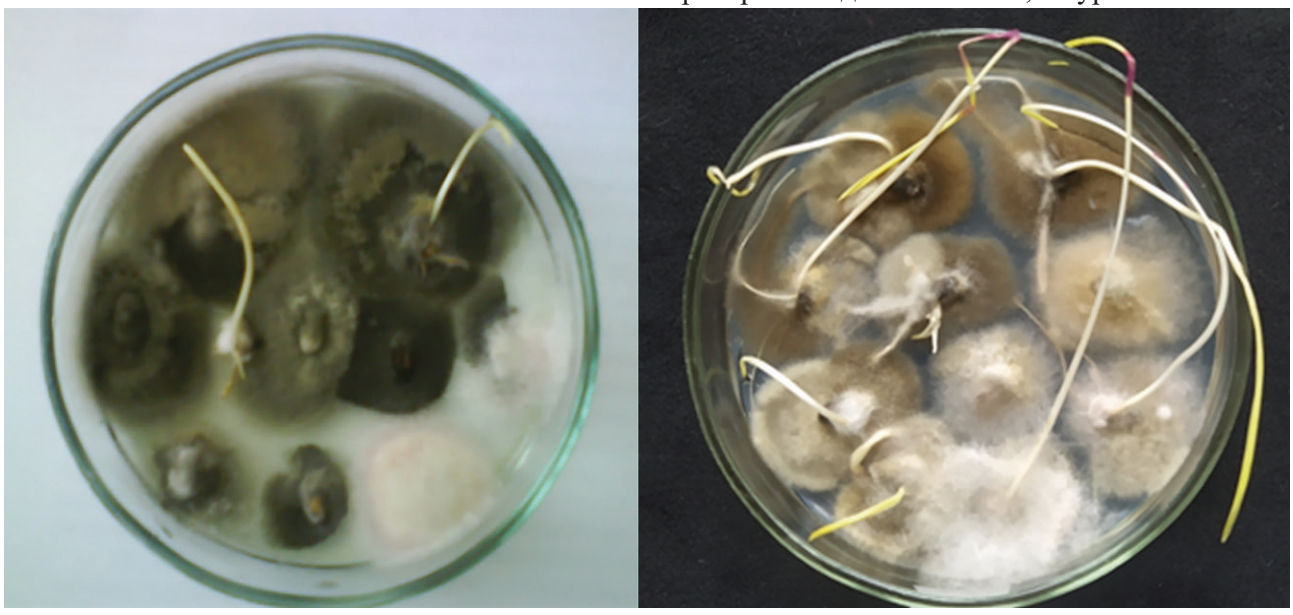
В вариантах опыта учитывали зараженность семян фитопатогенами методом микологического анализа, заболеваемость растений корневой гнилью по органам по методике [10] и биологическую урожайность (отбором снопов с 1 м$^2$). Повторность микологического анализа трехкратная, остальных учетов шестикратная. Данные обрабатывали дисперсионным анализом по программе Snedekor [11], выявляя наименьшую существенную разность между средними значениями вариантов при $P_{0,95}$.

Из трех лет исследования 2019 и 2021 гг. были умеренно влажными с ГТК по Селянинову 1,02 и 0,91; 2022 г. – засушливым с ГТК = 0,69.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во все годы проведения опыта семена высеваемой пшеницы содержали возбудителей фузариозной и гельминтоспориозной инфекции (рис. 1). Их численность достигала порога вредоносности (ПВ) или была выше его, что требовало предпосевного обеззараживания. Например, в 2019 г. фузариев в посевном материале насчитывалось 2,5 ПВ, *Bipolaris sorokiniana* 1,5 ПВ. Условно-патогенные грибы рода *Alternaria* встречались у 55–80 % семян, плесени хранения аспергиллы и пенициллы у 0–7 %. В 2022 г. уровень семенной фузариозной инфекции был практически таким же, фитопатоген гельминтоспориум встречался у 20 % семян (1,3 ПВ), альтернария у 76,7 %.

Применяемые биопрепараты семенную инфекцию подавляли почти на уровне эталона – бинарного химического протравителя семян. Жизнеспособных грибов *Fusarium* после обработки Фитопом 8.67-9 и АФГ в семенах не обнаруживалось или их было меньше ПВ (=5 %). *B. sorokiniana* этими препаратами ограничивался в 2 раза. Цитогумат на биполярис в зерновке не влиял, а условно патогенную альтернарию все препараты подавляли слабо, на уровне 11–35 %.



2019 г. 2022 г.

*Рис. 1.* Патокомплекс семян яровой пшеницы Новосибирская 31 перед посевом
Pathocomplex of spring wheat seeds Novosibirsk 31 before sowing

Обеззараживание семян приводило к ограничению заболеваемости корневой системы пшеницы (таблица). В 2019 г. в кущение, когда закладывался колос, индекс развития корневой гнили на первичных корнях (ИРБ) у растений с обработанными семенами оказался меньше контроля в 1,4–2,0 раза. В 2021 г. уменьшение ИРБ составило 2,3–3,4 раза, в 2022 г. 1,6–7 раз. Лучше других препаратов оздоравливал первичные корни химический эталон с дифеноконазолом и ципроконазолом. Среднее место по биологической эффективности в отношении гнилей зародышевых

корней заняли бактериально-гуминовый препарат АФГ и бактериальный Фитоп 8.67-9. Биологическая эффективность Цитогумата была ниже и изменялась от 38 до 70 %.

Изучаемые препараты защищали растения, судя по эпикотилю, и от почвенной инфекции. Этот орган переносит главную почку побега к поверхности почвы и служит рецептором почвенных инфекций. В контроле в кущение ИРБ эпикотиля изменялся в разные годы исследований от 8,2 до 10,4 %. В вариантах с Фитопом 8.67-9 и АФГ составлял в среднем 5,6 и 6,0 %. Химический эталон снижал индекс развития болезни эпикотиля в годы с умеренным увлажнением до 4,8–6,6 % и до 1,7 % в сухой год. В засушливую вегетацию здоровье эпикотиля оказалось важным для сохранности растений и урожайности зерна, поскольку при пересыхании почвы они снабжались водой преимущественно от зародышевых корней, т.е. через эпикотиль.

Цитогумат два года из трех лет никакого оздоравливающего действия на эпикотиль яровой пшеницы не показал.

**Пораженность первичных корней корневой гнилью корневой системы яровой пшеницы в вариантах опыта**
**Infection of primary roots by root rot of the root system of spring wheat in experimental variants**

| Варианты | ИРБ, %, фаза кущения | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2019 г. (ГТК = 1,02) | | 2021 г. (ГТК = 0,91) | | 2022 г. (ГТК = 0,69) | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Контроль, без обработки семян | 9,6 | 9,2 | 11,5 | 8,2 | 11,2 | 10,4 |
| Фитоп 8.67-9 | 6,1 | 6,8 | 4,9 | 4,0 | 3,2 | 5,9 |
| АФГ | 6,2 | 7,4 | 3,4 | 5,4 | 3,5 | 5,3 |
| Цитогумат | 5,4 | 10,3 | 4,5 | 5,0 | 6,9 | 9,7 |
| Химический эталон* | 4,9 | 6,6 | 3,4 | 4,8 | 1,6 | 1,7 |
| $НСР_{05}$ | 3,3 | 2,3 | 3,3 | 2,8 | 2,7 | 4,3 |

*Примечания:* 1 – первичные корни; 2 – эпикотиль; * – препарат с дифеноконазолом и ципроконазолом.

Урожайность яровой пшеницы в опыте изменялась по годам и зависела от предшественника. В умеренно увлажненном 2019 г. в контроле без обработки семян она составила по паровому предшественнику 352,0 г/м$^2$, а примерно в таких же условиях увлажнения по предшественнику вторая пшеница в 2021 г. – 265,4 г/м$^2$. При этом прибавка урожайности по вариантам с обработкой семян в оба года исследований с ГТК = 0,9–1,0 имела одинаковую направленность (рис. 2) и уменьшалась в ряду: препараты с бациллами (Фитоп 8.67-9 и АФГ) > Цитогумат > химический эталон.

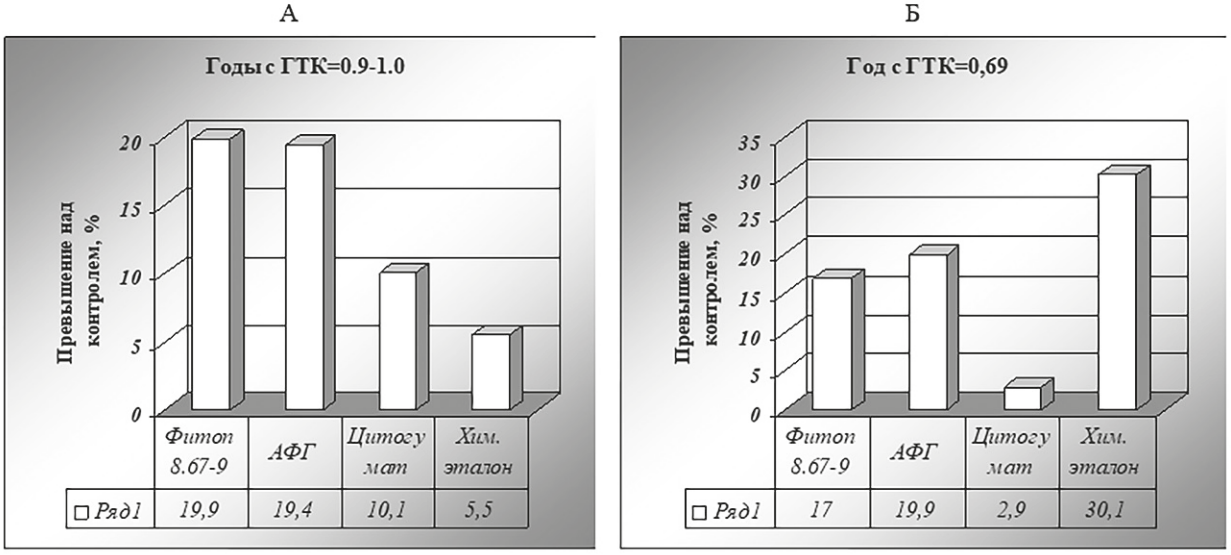



*Рис. 2.* Прибавка урожайности яровой пшеницы сорта Новосибирская 31 от применения препаратов для обработки семян в разные по влагообеспеченности годы: *А* – среднее за 2019 и 2021 гг., *Б* – среднее за 2022 г.

В сухой год в посеве яровой пшеницы во всех изученных вариантах кроме химического протравителя (эталона) отмечалась низкая сохранность растений к уборке. Этому способствовали почвенная инфекция и ослабленная конкурентноспособность и стрессоустойчивость растений. Количество растений, сохранившихся к уборке, составило на изученных препаратах не более 40 % от нормы посева, в то время как в варианте с дифеноконазолом и ципроконазолом густота стояния растений соответствовала норме.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Многолетняя практика и мировой опыт показывают, что возбудители корневых инфекций, выявленные нами в семенах яровой пшеницы в годы исследований, актуальны во всех регионах возделывания сельскохозяйственных культур [12], а вызываемые ими болезни можно существенно ограничить с помощью качественно проведенной предпосевной обработки семян биопрепаратами на основе бактерий рода *Bacillus* [12–13]. Важные аспекты такой обработки – возможность обеззараживания семян растений от фитопатогенов, экологическая безопасность для почвенной среды [14–15] и стимуляции роста корней и проростков экзометаболитами бацилл или гуминовыми веществами. В проведенных опытах инокуляция бактериями обеспечила оздоровление семенного материала от фитопатогенов до уровня порога вредоносности. Это привело к ограничению процента пораженности первичных корней растений корневой гнилью в 2019 и 2021–2022 гг. в 1,4–3,4 раза. В умеренно влажные вегетации биопрепараты для обработки семян показали биологическую эффективность в отношении корневой гнили, сравнимую с бинарным химическим эталоном с дифеноконазолом и ципроконазолом. В засушливых условиях химический протравитель оздоравливал корневую систему яровой пшеницы, защищал ее от почвенной инфекции гораздо лучше и обеспечил полноценную сохранность растений к уборке зерна.

Поэтому в сухой год, несмотря на небольшую массу 1000 зерен, урожайность яровой пшеницы варианта с химическим протравителем превзошла варианты с бактериальной инокуляцией семян. Относительно варианта с Фитопом 8.67-9 это произошло чуть больше, чем на треть, относительно АФГ – на 30 %.

## ВЫВОДЫ

1. Использование бактериального Фитопа 8.67-9 и бактериально-гуминового препарата АФГ для обработки семян яровой пшеницы достаточно эффективно подавляет грибную инфекцию. Зараженность семян *Fusarium* и *Bipolaris sorokiniana* – возбудителями корневых гнилей злаков – после их применения снизилась до установленных порогов вредоносности (5 % для фузариев и 10–15 % для биполяриса).

2. Обработка семян препаратами с *Bacillus* способствовала оздоровлению первичных корней растений в 1,6–3,5 раза и защите пшеницы от почвенной инфекции до фазы кущения. Индекс поражения эпикотиля корневой гнилью на фоне инокуляции семян Фитопом 8.67-9 оказался меньше контроля на 40 %, обработки АФГ на 30 %. Слабо эффективным в подавлении почвенной инфекции проявил себя гуминовый препарат Цитогумат.

3. Урожайность зерна яровой пшеницы в годы с ГТК = 0,9–1,0 изменялась в ряду: препараты с бациллами (прибавка к контролю ~20 %) > Цитогумат (+10 %) > химический эталон (+5,5 %). В засушливую вегетацию урожайность зерна третьей культуры по пару была выше на 30–38 % на химическом протравителе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Multi-peril* pathogen risks to global wheat production: a probabilistic loss and investment assessment / Y. Chai [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2022. – № 13. – DOI: 10.3389/fpls.2022.1034600.
2. *Коробова Л.Н.* Влияние протравителей семян на биогенность почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 9. – С. 12–16.
3. *Торопова Е.Ю., Фещенко Е.С.* Эффективность протравителей семян яровой пшеницы при возделывании по разным предшественникам в лесостепи Новосибирской области // Защита и карантин растений. – 2023. – № 4. – С. 15–18.

4. *Влияние* химических и биологических препаратов на всхожесть семян и выживаемость Triticum aestivum L. / С.А. Душкин, В.С. Лукъянцев, А.П. Глинушкин [и др.] // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2012. – № 6. – С. 30–33.
5. *Дьяков Ю.Т.* Фундаментальная фитопатология. – М., 2012. – 512 с.
6. *Advances* in the control of phytopathogenic fungi that infect crops through their root system / J.J.R. Coque, J.M.Álvarez-Pérez, R. Cobos [et al.] // Adv. Appl. Microbiol. – 2020. – Vol. 111. – P. 123–170. – DOI: 10.1016/bs.aambs.2020.01.003.
7. *Коробова Л.Н., Гаврилец Т.В.* Применение бактофита: и прибавка урожая, и оздоровление почвы // Защита и карантин растений. – 2006. – № 4. – С. 47–48.
8. *Степанов М.И., Коробов В.А., Леляк А.А.* Эффективность биологического препарата Фитоп 8.67 на основе штаммов бактерий рода *Bacillus* на яровой пшенице в Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 36–38.
9. *Мустапа У.А., Павлова К.В., Коробова Л.Н.* Действие препаратов для обработки семян АФГ и Фитопа 8.67- 9 на яровую пшеницу // Химия и жизнь: сб. ст. XXI Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2022. – С. 116–120.
10. *Чулкина В.А.* Методические указания по учету корневой гнили хлебных злаков в Сибири дифференцированно по органам. – Новосибирск, 1972. – 23 с.
11. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Краснообск, 2004. – 162 с.
12. *Bacillus amyloliquefaciens* FG14 as a potential biocontrol strain against rusty root rot of *Panax ginseng*, and its impact on the rhizosphere microbial community / J. Wang, J. Wang, T. Liu [et al.] // Biol. Control. – 2023. – Vol. 182. – Art. 10522. – DOI: 10.1016/j.biocontrol.2023.105221.
13. *Effective* biocontrol of soybean root rot by a novel bacterial strain *Bacillus siamensis* HT1/ H. He, Q. Zhai, Y. Tang [et al.] // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2023. – Vol. 125. – Art. 101984. – DOI: 10.1016/j.pmpp.2023.101984.
14. *Effects* of triazole fungicides on soil microbiota and on the activities of enzymes found in soil: A review / D.L. Roman, D.I. Voiculescu, M. Filip [et al.] // Agriculture. – 2021. – Vol. 11, № 9. – P. 893. – DOI: 10.3390/agriculture11090893.
15. *Bedano J.C., Lavelle P., Zou X.* Soil biodiversity for the sustainability of agroecosystems // Acta Oecol. – 2021. – Vol. 110. – Art. 103705. – DOI: 10.1016/ j.actao.2021.103705.

## REFERENCES

1. Chai Y. [et al.], Multi-peril pathogen risks to global wheat production: a probabilistic loss and investment assessment, *Frontiers in Plant Science*, 2022, No. 13, DOI: 10.3389/fpls.2022.1034600.
2. Korobova L.N., *Sibirskij vestnik sel`skoxozyajstvennoj nauki*, 2008, No. 9, pp. 12–16. (In Russ.)
3. Toropova E.Yu., Feshhenko E.S., *Zashhita i karantin rastenij*, 2023, No. 4, pp. 15–18. (In Russ.)
4. Dushkin S.A., Luk``yancev V.S., Glinushkin A.P. [i dr.], *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No. 6, pp. 30–33. (In Russ.)
5. D`yakov Yu.T., *Fundamental`naya fitopatologiya* (Fundamental Phytopathology), Moscow, 2012, 512 p.
6. Coque J.J.R., Álvarez-Pérez J.M., Cobos R. [et al.], Advances in the control of phytopathogenic fungi that infect crops through their root system, *Adv. Appl. Microbiol.*, 2020, Vol. 111, pp. 123–170, DOI: 10.1016/bs.aambs.2020.01.003.
7. Korobova L.N., Gavrilecz T.V., *Zashhita i karantin rastenij*, 2006, No. 4, pp. 47–48. (In Russ.)
8. Stepanov M.I., Korobov V.A., Lelyak A.A., *Dostizheniya nauki i texniki APK*, 2012, No. 12, pp. 36–38. (In Russ.)
9. Mustapa U.A., Pavlova K.V., Korobova L.N., *Ximiya i zhizn`*(Chemistry and Life), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk: Zolotoj Kolos, 2022, pp. 116–120. (In Russ.)
10. Chulkina V.A., *Metodicheskie ukazaniya po uchetu kornevoj gnili xlebny`x zlakov v Sibiri differencirovanno po organam* (Guidelines for recording root rot of cereals in Siberia differentiated by organs), Novosibirsk, 1972, 23 p.
11. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp`yutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk, 2004, 162 p.
12. Wang J., Wang J., Liu T. [et al.], Bacillus amyloliquefaciens FG14 as a potential biocontrol strain against rusty root rot of Panax ginseng, and its impact on the rhizosphere microbial community, *Biol. Control*, 2023, Vol. 182, Art. 10522, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2023.105221.
13. He H., Zhai Q., Tang Y. [et al.], Effective biocontrol of soybean root rot by a novel bacterial strain Bacillus sia-mensis HT1, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2023, Vol. 125, Art. 101984, DOI: 10.1016/j.pmpp.2023.101984.
14. Roman D.L., Voiculescu D.I., Filip M. [et al.], Effects of triazole fungicides on soil microbiota and on the activities of enzymes found in soil: A review, *Agri-culture*, 2021, Vol. 11, No. 9, pp. 893, DOI: 10.3390/agriculture11090893.
15. Bedano J.C., Lavelle P., Zou X., Soil biodiversity for the sustainability of agroe-cosystems, *Acta Oecol.*, 2021, Vol. 110, Art. 103705, DOI: 10.1016/ j.actao.2021.103705.

**Информация об авторах:**
*А.А. Побеленская,* аспирант
*Л.Н. Коробова*, доктор биологических наук, старший научный сотрудник
*К.В. Павлова,* аспирант

**Contribution of the authors:**
*A.A. Pobelenskaya,* postgraduate student
*L.N. Korobova,* Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher
*K.V. Pavlova,* postgraduate student

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-150-157
УДК 633.521

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА И СЕМЯН ЛЬНА ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА С МАРКЕРНЫМ ПРИЗНАКОМ

**В.П. Понажев, Н.В. Пролётова**
*Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия*
**E-mail:** n.proletova.trk@fnclk.ru

**Для цитирования:** *Понажев В.П., Пролётова Н.В.* Эффективность создания исходного материала и семян льна высокого качества с маркерным признаком // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 150–157. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-150-157.

**Ключевые слова***:* лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), растение, семена, волокно, отбор, масса, посев.

**Реферат**. *Одним из перспективных направлений в научном обеспечении селекции и семеноводства льна является создание высококачественных семян культуры с маркерными признаками. Поэтому целью исследований являлось изучение эффективности создания семян льна с маркерным признаком, их количественных и качественных показателей и характеристик для последующего использования в селекции и семеноводстве. Проведение экспериментов осуществлялось в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Торжок, Тверская область) в 2016–2020 гг. Научные исследования выполняли в соответствии с действующими методиками. Проведение целенаправленных отборов растений позволило выделить из сортов Смолич, Антей, С-108 новые ценные линии льна и получить семена с маркерным признаком – светло-желтой окраской. Установлено, что наибольшей ценностью характеризовалась линия льна Л-1, которая превосходила стандарт по массе семени на 16,0 %, а также по содержанию волокна в стебле – на 2,9 % и урожайности семян – на 9,8 %. Линия Л-1 по своим характеристикам отнесена к улучшенному аналогу долгунцового льна. Выявлена линия льна Л-2, которая, обладая высоким содержанием волокна в стебле – 30,6 % (сорт-стандарт Антей – 24,8 %), повышенной массой семени – 5,5 г (сорт-стандарт Антей – 5,1 мг), соответствовала по морфологическим признакам масличной форме. В результате исследований выделена линия Л-3, которая по урожайности семян превосходила стандарт, сорт С-108, на 14,8 % и одновременно характеризовалась повышенной массой семени и высоким содержанием волокна в стебле. Линия льна Л-3 передана в признаковую коллекцию как ценный селекционный материал двухстороннего использования – для получения семян и волокна высокого качества. Все созданные линии пополнили признаковую коллекцию льна ФГБНУ ФНЦ ЛК как ценный исходный материал для селекции и семеноводства культуры.*

# EFFICIENCY OF CREATING HIGH-QUALITY FLAX SOURCE MATERIAL AND SEEDS WITH A MARKER FEATURE

**V.P. Ponazhev, N.V. Proletova**
*Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia*
**E-mail:** n.proletova.trk@fnclk.ru

**Keywords***:* flax (*Linum usitatissimum L.*), plant, seeds, fiber, selection, mass, sowing.

**Abstract.** *One of the promising areas in scientific support for flax breeding and seed production is the creation of high-quality seeds of the crop with marker traits. Therefore, the aim of the research was to study the efficiency of creating flax seeds with a marker trait, their quantitative and qualitative indicators and characteristics for subsequent use in breeding and seed production. The experiments were carried out at the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (Torzhok, Tver Region) in 2016–2020. Scientific research was carried out in accordance with current methods. Conducting targeted selections of plants made it possible to isolate new valuable flax lines from the Smolich, Antey, S-108 varieties and obtain seeds with a marker trait - light yellow color. It was found that the flax line L-1 was characterized by the greatest value, exceeding the standard in seed weight by 16.0 %, as well as in fiber content in the stem – by 2.9 % and seed yield – by 9.8 %. Line L-1, according to its characteristics, is classified as an improved analogue of fiber flax. Flax line L-2 was identified, which, having a high fiber content in the stem – 30.6 % (standard variety Antey – 24.8 %), increased seed weight – 5.5 g (standard variety Antey – 5.1 mg), corresponded to the oilseed form in morphological features. As a result of the research, line L-3 was isolated, which exceeded the standard, variety S-108, in seed yield by 14.8 % and at the same time was characterized by*

*increased seed weight and high fiber content in the stem. The flax line L-3 was transferred to the characteristic collection as valuable selection material of two-way use - for obtaining high-quality seeds and fiber. All created lines have replenished the characteristic collection of flax of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNC LC as valuable source material for selection and seed production of the crop.*

Производство требуемого объема продукции льна-долгунца, определяемого условиями развития льняного сектора экономики Российской Федерации, во многом обуславливается возможностью гарантированного обеспечения льняной отрасли семенами высокого качества, проведением ускоренной сортосмены и устойчивого сортообновления культуры.

Важнейшим ресурсом для обеспечения проведения сортосмены и сортообновления является получение необходимого количества семян новых сортов льна-долгунца с высоким качеством и высокими посевными характеристиками. Новые сорта льна относительно устаревших сортов, как правило, обладают повышенной продуктивностью, устойчивостью к наиболее опасным болезням, полеганию и стрессовым факторам среды [1–3]. При создании новых сортов используется селекционный материал, полученный в результате проведения оценки на устойчивость к эдафическим факторам среды, стрессам и болезням, что способствует расширению ареала возделывания этих сортов, повышению эффективности использования их биологического потенциала [4–6]. В то же время некоторые сельхозтоваропроизводители используют зарубежные сорта льна-долгунца, обладающие высокими урожайными свойствами и более продолжительным вегетационным периодом, которые значительно уступают отечественным аналогам по устойчивости к болезням, которые все чаще проявляются в производственных посевах и сводят к минимуму получение высоких урожаев льнопродукции – семян и волокна [7, 8].

Наряду с успешным внедрением новых отечественных сортов в производство все еще остается не полностью решенной проблема создания высокопродуктивных сортов льна-долгунца, обладающих высоким качеством семян, в том числе повышенной массой семени, обеспечивающей высокую энергию прорастания семян в полевых условиях и такую же интенсивность развития растений. Недостаточно в отечественной селекции, в отличие от зарубежной, используется направление, связанное с выведением сортов льна-долгунца с маркерными признаками. Создание сортов льна-долгунца, имеющих семена высокого качества с повышенной массой семени и маркерными признаками, способствовало бы уменьшению затрат труда, повышению уровня сортового и семенного контроля в семеноводстве [9–12].

В настоящее время основной причиной отсутствия в Госреестре селекционных достижений сортов, обладающих маркерными признаками, является отсутствие достаточного количества исходного селекционного материала. Методы создания такого исходного материала в селекции предусматривают необходимость проведения отбора исходного материала по количественным и качественным показателям семян [13–15].

Формирование количественных и качественных показателей семенного материала льна-долгунца определяется влиянием совокупности биологических, технологических и метеорологических факторов. Многие из них (в том числе климатические и почвенные условия) значительно снижают качественные характеристики семян, в том числе их фенотипические и количественные признаки [16–18].

Исходя из этого следует, что актуальным и значимым является проведение отбора исходного материала не только по комплексу морфологических признаков растений, но и с учетом качественных признаков семенной продуктивности. Поэтому целью исследований являлось изучение эффективности создания семян льна с маркерным признаком, их количественных и качественных показателей и характеристик для последующего использования в селекции и семеноводстве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на опытном поле и в лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Торжок, Тверская область) в 2016–2020 гг. Предметом исследований являлись линии и сорта льна, и их семена. Объект исследований – процесс отбора и анализа растений по комплексу хозяйственно ценных признаков с последующим созданием семян и оценкой их качества.

Эксперименты проводили в соответствии с существующими методиками, обозначенными у В.П. Понажева с коллегами [19]. Питомники отбора и оценки растений на однородность по цвету семян – маркерному признаку, закладывали в условиях выровненного агротехнического фона

и высевом семян квадратно-гнездовым способом (2,5×2,5 см) [20].

Контролем в полевом опыте являлись сорта льна-долгунца селекции ФГБНУ ФНЦ ЛК, включенные в Госреестр селекционных достижений – Смолич, Антей, С-108. Дополнительным стандартом являлся сорт льна масличного Воронежский. Посевные качества семян оценивали в соответствии с ГОСТ Р 52325–2005 [21].

Определение сортовой однородности созданных семян льна-долгунца, выровненности растений льна по высоте, однородности по содержанию волокна в стебле, окраске семени в потомстве осуществляли с использованием метода грунтового контроля [22].

Инфекционно-провокационный фон на антракноз (*Colletotrichum Lini* Manns et Bolley), ржавчину (*Melampsora Lini* Desm.) создавали путем внесения инфекции в почву в день посева. Предварительно создавалась искусственная популяция патогенов из штаммов различной вирулентности [23].

Для получения типичного материала отбирали растения льна и оценивали по комплексу морфологических признаков, а также по цвету, массе семени и содержанию волокна в стебле.

Почва опытных участков во всех экспериментах дерново-подзолистая среднесуглинистая, хорошо окультуренная.

Посев семян сортов льна-долгунца, уход за растениями в опытах и уборку посевов проводили в сроки, рекомендованные методическими указаниями.

Сумма активных температур воздуха (выше 10 °С) за вегетационный период составляла в годы исследований 1850–1900 °С, количество выпадающих осадков – 260–295 мм (что соответствовало 43–49 % годовой нормы). Гидротермический коэффициент (по Селянинову), характеризующий особенности метеоусловий в период вегетации растений, составлял 2,2 ед. в 2016 г., 1,8 ед. – в 2017 г., 1,3 ед. – в 2018 г., 1,8 ед. – в 2019 г. Лишь в 2019 г. гидротермический коэффициент соответствовал оптимальному значению.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в соответствии с методикой полевого опыта, изложенной у Б.А. Доспехова, методом дисперсионного анализа [24]

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования, предусматривающие изучение реакции двадцати сортов льна-долгунца на условия выращивания в южном (Средне-Волжском) регионе, позволили выявить ряд особенностей формирования количественных и качественных показателей семян. Семнадцать сортов обеспечили получение высокой урожайности семян – более 10 ц/га с уровнем сортового и посевного качества, соответствующим ГОСТ Р 52325–2005. У трех сортов – Смолич, Антей и С-108 – в потомстве были выявлены растения со светло-желтой окраской семян и повышенной массой семени. Семена этих сортов традиционно коричневого цвета, характеризовались повышенным уровнем депрессии при прорастании и силой роста на 7,7–13,4 % ниже по сравнению с семенами, выращенными в традиционном (Северо-Западном) регионе льносеяния.

После проведения улучшающих отборов растений со светло-желтой окраской семян были получены три линии, имеющие однородные по фенотипическому признаку семена. Исследования в инфекционно-провокационном питомнике на устойчивость к наиболее опасным болезням льна показали, что растения линий, имеющих светло-желтую окраску семян, характеризовались устойчивостью к антракнозу на уровне сорта-стандарта Альфа (около 50 %), а по устойчивости к ржавчине они превосходили сорт-стандарт более чем в 2 раза (37,5 против 16,7 %).

Параллельно созданные линии выращивали в луночном питомнике для проведения сравнительной оценки с сортами, из которых были отобраны растения с маркерным признаком, и дополнительным стандартом – сортом льна масличного. Общая высота растений у созданных линий Л-1, Л-2, Л-3 составляла 68,2–75,2 см при 69,1–76,8 см – у сортов-стандартов. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Исследования позволили установить, что линия Л-1, имеющая светло-желтую окраску семян, характеризовалась наибольшей ценностью. По таким показателям, как содержание волокна в стебле (31,8 %), масса единичного семени (5,8 мг), семенная продуктивность растения (количество семян в одной коробочке – 6,7 шт.) она превосходила стандарты: сорт, из которого был проведен отбор (Смолич), и сорт масличного льна Воронежский, а также другие полученные линии. Эту линию было предложено отнести к улучшенной долгунцовой форме льна с маркерным признаком (окраска семян), поскольку она отличалась от исходного сорта и имела более высокие значения морфологических показателей. Также эта линия может использоваться в качестве исходного се-

лекционного материала для создания сортов с высоким урожаем семян и волокна.

В результате исследований выявлено, что созданная линия Л-2 с семенами светло-желтой окраски (отбор был проведен из сорта льна-долгунца Антей), по признаку «высота растений» (68,2 см) больше напоминала линию льна масличного. Эта линия, обладая более высоким содержанием волокна в стебле, по сравнению с дополнительным стандартом – сортом масличного льна Воронежский (30,6 против 24,8 %) характеризовалась повышенной крупностью семени (масса единичного семени 5,5 против 5,1 мг). В то же время линия Л-2 уступала сорту-стандарту Антей по количеству семян в одной коробочке (6,8 против 7,1 шт.) и содержанию волокна (30,6 против 31,2 %). Следовательно, созданная линия Л-2 обладала признаками льна масличного в большей степени, чем льна долгунцового.

*Таблица 1*

**Результаты оценки растений льна с маркерным признаком семян по семенной продуктивности (среднее за 2016–2018 гг.)**

**Results of evaluation of flax plants with a marker seed trait for seed productivity (average for 2016–2018)**

| Морфологический признак | Линия, сорт льна | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Л-1 | Смолич | $НСР_{0,5}$ | Л-2 | Антей | $НСР_{0,5}$ | Л-3 | С-108 | $НСР_{0,5}$ | Воронежский |
| Количество: • коробочек, шт./20 растений | 98 | 88 | | 94 | 78 | | 88 | 86 | | 90 |
| • семян в одной коробочке. шт. | 6,7 | 7,0 | | 6,8 | 7,1 | | 7,2 | 7,0 | | 7,1 |
| • семян, шт./20 растений | 660 | 620 | | 640 | 560 | | 640 | 600 | | 640 |
| Масса: • единичного семени, мг | 5,8 | 5,0 | 0,7 | 5,5 | 5,0 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 5,6 | 5,0 | 0,6 | 5,1 |
| • 1000 шт. семян, г | 5,76 | 5,02 | | 5,54 | 5,04 | | 5,58 | 5,49 | | 5,10 |
| Содержание волокна в стебле, % | 31,8 | 28,9 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 30,6 | 31,2 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 28,4 | 27,7 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 24,8 |

Созданная линия льна Л-3 также имела по сравнению с сортами-стандартами (С-108, Воронежский) более высокое содержание волокна в стебле (28,4 против 27,7 и 24,8 %) и повышенную массу семени (масса единичного семени – 5,6 против 5,0 и 5,1 мг). Данную линию предложено использовать в качестве селекционного материала для создания сортов льна-долгунца двойного назначения – для получения высокого урожая семян и волокна.

Последующая сравнительная оценка эффективности размножения созданных партий семян льна с маркерным признаком – окраской семян в полевых опытах позволила получить результаты, представленные в табл. 2.

В ходе исследований установлено, что линия Л-1 по сравнению с сортом-стандартом Смолич, а также сортом-стандартом Воронежский оказалась наиболее продуктивной по семенам, урожайность семян составила 6,7 ц/га. Линия характеризовалась наибольшей массой 1000 шт. семян (5,46 г) и силой роста семян (масса ста сырых проростков семян – 2,3 г). Содержание волокна в стебле (27,9 %) у этой линии было выше, чем у стандарта – льна-долгунца сорта Смолич на 2,0 %, а по сравнению с сортом льна масличного Воронежский – на 4,9 %.

Выявлено, что линия Л-2 превосходила сорт стандарт Антей по урожайности семян на 1,8 ц/га, или на 40,0 % (6,3 и 4,5 ц/га соответственно), по силе роста семян – на 15,8 % (масса ста сырых проростков семян составила 2,2 г против 1,9 г). Однако эта линия льна уступала сорту льна-долгунца Антей по содержанию волокна в стебле (28,5 против 29,2 %), тогда как сорт масличного льна Воронежский линия превосходила по этому признаку (28,2 против 23,0 %).

*Таблица 2*

**Урожайность и качество семян льна с маркерным признаком в условиях полевого опыта (среднее за 2017–2019 гг.)**
**Yield and quality of flax seeds with a marker trait under field experiment conditions (average for 2017–2019)**

| Морфологический признак | Линия, сорт льна | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Л-1 | Смолич | $НСР_{0,5}$ | Л-2 | Антей | $НСР_{0,5}$ | Л-3 | С-108 | $НСР_{0,5}$ | Воронежский |
| Урожайность семян, ц/га | 6,7 | 6,1 | 0,6 | 6,3 | 4,5 | 0,8 | 6,2 | 5,4 | 0,7 | 5,3 |
| Всхожесть семян в полученном урожае, % | 94 | 93 | | 93 | 93 | | 94 | 92 | | 92 |
| Масса 1000 шт семян в полученном урожае, г | 5,46 | 5,00 | | 5,04 | 4,51 | | 5,11 | 4,62 | | 4,93 |
| Масса ста сырых проростков семян – сила роста семян, г | 2,3 | 2,2 | | 2,2 | 1,9 | | 2,2 | 2,2 | | 1,9 |
| Содержание волокна в стебле растений в полученном урожае, % | 27,9 | 25,9 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 28,5 | 29,2 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 27,1 | 25,7 | $F_{0,5} > F_{факт}$ | 23,0 |

Линия Л-3 по всем исследуемым показателям превосходила как сорт-стандарт льна-долгунца С-108, так и сорт масличного льна Воронежский.

Результаты исследований по изучению эффективности размножения семенного материала линий льна с маркерным признаком подтвердили данные, полученные при их размножении в условиях луночного посева.

Результаты оценки однородности созданных линий льна по высоте и содержанию волокна в стебле, которые являются сортовыми признаками во многом характеризуют уровень их стабильности, эффективность отбора. Исследования позволили установить, что все созданные линии льна характеризовались высоким уровнем однородности по количеству волокна в стебле и высоте растений. Результаты исследований представлены в табл. 3.

*Таблица 3*

**Результаты оценки выровненности растений линий льна по высоте и однородности по содержанию волокна в стебле методом грунтового контроля (среднее за 2018–2020 гг.)**
**Results of assessing the evenness of flax plant lines by height and homogeneity by fiber content in the stem using the soil control method (average for 2018–2020)**

| Коэф. вариации признака, % | Линия, сорт льна | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Л-1 | Смолич | Л-2 | Антей | Л-3 | С-108 | Воронежский |
| По высоте растений* | 4,2 | 4,1 | 3,6 | 3,7 | 4,5 | 5,6 | 3,2 |
| По содержанию волокна в стебле** | 3,4 | 2,1 | 4,2 | 4,3 | 4,1 | 3,4 | 2,3 |

*Примечание*: * 6,0 % и менее – высокая однородность; ** 5,0 % и менее – высокая однородность.

Анализ данных показал, что коэффициент вариации по высоте растений у созданных линий льна (Л-1, Л-2, Л-3) изменялся в пределах от 3,6 % у линии Л-2 до 4,5 % у линии Л-3, по содержанию волокна в стебле – от 3,4 % у линии Л-1 до 4,2 % у линии Л-2. Линии и сорта

считаются однородными по высоте растений, если коэффициент вариации составляет 6,0 % и менее, а по содержанию волокна в стебле – 5,0 % и менее. Наименьшей вариабельностью по признаку «высота растений» обладал сорт-стандарт Воронежский, а из созданных линий – Л-2, полученная из сорта Антей. По признаку «содержание волокна в стебле» наименее вариабелен был сорт Воронежский и созданная линия Л-1, полученная из сорта Смолич. Результаты исследований свидетельствуют о том, что созданные линии были выровненными по высоте растений и однородными по содержанию волокна в стебле.

Полученный семенной материал линий льна с маркерным признаком – светло-желтой окраской семян в 2020 г. был размножен в питомнике первичного семеноводства, а в последующем включен в признаковую коллекцию льна для использования в селекционно-семеноводческом процессе.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из перспективных направлений в научном обеспечении селекции и семеноводства льна является создание высококачественных семян культуры с маркерными признаками. Поэтому изучение эффективности создания семян льна с маркерным признаком, их количественных и качественных показателей и характеристик для последующего использования в селекции и семеноводстве является перспективным направлением исследований. В результате исследований из сортов Смолич, Антей, С-108 выделены новые ценные линии льна и получены семена с маркерным признаком – светло-желтой их окраской. Новая, выделенная из сорта Смолич, линия льна Л-1, отнесенная к улучшенному аналогу долгунцового льна, превосходила стандарт по массе семени, содержанию волокна в стебле и урожайности семян. Линия льна Л-2, выделенная из сорта Антей, обладала высоким содержанием волокна в стебле, повышенной массой семени и соответствовала по морфологическим признакам масличной форме. Выделенная из сорта С-108 линия Л-3 по урожайности семян превосходила стандарт и характеризовалась повышенной массой семени и высоким содержанием волокна в стебле. Созданные линии переданы в признаковую коллекцию льна ФГБНУ ФНЦ ЛК для использования в селекционном процессе в качестве исходного материала.

## ВЫВОДЫ

1. Проведение целенаправленных отборов растений позволило выделить из сортов Смолич, Антей, С-108 новые ценные линии льна и получить семена с маркерным признаком – светло-желтой окраской.

2. Установлено, что наибольшей ценностью характеризовалась линия льна Л-1, которая превосходила стандарт по массе семени на 16,0 %, а также по содержанию волокна в стебле на 2,9 % и урожайности семян на 9,8 %. Линия Л-1 по своим характеристикам отнесена к улучшенному аналогу долгунцового льна.

3. Выявлена линия льна Л-2, которая, обладая высоким содержанием волокна в стебле – 30,6 % (сорт-стандарт Антей – 24,8 %), повышенной массой семени – 5,5 г (сорт-стандарт Антей – 5,1 мг), соответствовала по морфологическим признакам масличной форме.

4. В результате исследований выделена линия Л-3, которая по урожайности семян превосходила стандарт, сорт С-108, на 14,8 % и одновременно характеризовалась повышенной массой семени и высоким содержанием волокна в стебле. Линия льна Л-3 передана в признаковую коллекцию как ценный селекционный материал двухстороннего использования – для получения семян и волокна высокого качества.

5. Все созданные линии пополнили признаковую коллекцию льна ФГБНУ ФНЦ ЛК как ценный исходный материал для селекции и семеноводства культуры.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания Федерального научного центра лубяных культур FGSS-2024-0005.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В.* Лубяные культуры России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы развития // Технические культуры. – 2021. – № 1. – С. 30–40. – DOI: 10.54016/svitok.1.1.005.
2. *Реакция* сортов льна-долгунца на нормы высева, сроки сева и оптимизацию минерального питания на дерново-подзолистых среднеокультуренных почвах в условиях Псковской области / А.Д. Степин, М.Н. Рысев, Т.А. Рысева [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – № 21 (6). – С. 764–776. – DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.764-776.

3. *A comparative* study between Europe and China in crop management of two types of flax: linseed and fibre flax / K. Heller, Q.C. Sheng, F. Guan [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2015. – Vol. 68. – P. 24–31. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.07.010.
4. *Янышина А.А.* Мониторинг содержания сортовой примеси в питомниках первичного и элитного семеноводства льна-долгунца // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (56). – С. 85–90. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-85-90. *Bayesian* analysis of cultivar and climate effects on seed and oil production in linseed / G. Fila, M. Montanari, C. Maestrini, M. Bagatta // Industrial Crops and Products. – 2024. – Vol. 218. – P. 118883. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118883.
5. *Разнообразие* морфологических признаков льна в генетической коллекции ВИР как результат его доместикации / Е.А. Пороховинова, С.Н. Кутузова, А.В. Павлов [и др.] // Экологическая генетика. – 2018. – Т. 16, № 4. – С. 33–50. – DOI: 10.17816/ecogen16433-50.
6. *Flax* stems: from a specific architecture to an instructive model for bioinspired composite structures / C. Baley, C. Goudenhooft, M. Gibaud, A. Bourmaud // Bioinspir. Biomim. – 2018. – Vol. 13. – P. 26007. – DOI: 10.1088/1748-3190/aaa6b7.
7. *Понажев В.П., Виноградова Е.Г.* Развитие селекции и семеноводства льна-долгунца – важнейший ресурс повышения эффективности льноводства России // Технические культуры. – 2022. – № 1. – С. 30–39. – DOI: 1054016/ svitok.2022.71.55.004.
8. *Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н.* Конкурентоспособность отечественных сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна при переработке льнотресты в современных условиях производства // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 55–65. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-55-65.
9. *Winter* flax: Stem structure, fibre properties and reinforcement potential for composite materials / A. Hue, C. Buffet, P. D'Arras [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2024. – Vol. 217. – P. 1. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118831.
10. *Characteristics* of the New Fiber Flax Variety HERA in Terms of Fiber Quality Parameters Regard to Agronomic Assessment and Seeds Quality / M. Praczyk, A. Kicinska-Jakubowska, B. Romanowska [et al.] // Journal of natural fibers. – 2024. – № 1 (21). – 2301669.
11. *Influence* of the morphology characters of the stem on the lodging resistance of Marylin flax / A. Bourmaud, M. Gibaud, A. Lefeuvre [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2014. – Vol. 66. – P. 27–37. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.11.047.
12. *Влияние* нормы высева на урожайность льна-долгунца сорта Феникс в условиях Смоленской области / С.М. Зуева, А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 12. – С. 31–35. – DOI: 10.28983/asj.y2022i12pp31-35.
13. *Понажев В.П., Козьякова Н.Н.* Методы ускоренного создания обновленных семян льна высокого качества в первичном семеноводстве // Аграрная наука. – 2024. – № 1 (9). – С. 114–118. – DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118.
14. *Пролетова Н.В., Зотова В.С.* Влияние селективных условий *in viro* на изменчивость создаваемых форм льна // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4. – С. 95–107.
15. *Богдан В.З.* Генофонд, методы и результаты селекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum L.*) в Республике Беларусь: Автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. – Жодино, 2024. – 47 с.
16. *Понажев В.П., Козьякова Н.Н.* Эффективность методов позитивного отбора исходного материала льна-долгунца в первичном семеноводстве // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3 (67). – С. 66–74. – DOI: 10.18286/1816-4501-2024-3-66-74.
17. *Янышина А.А., Понажев В.П.* Изменение сортовой чистоты семян льна-долгунца при засорении семенами межеумочной формы льна в процессе репродуцирования их в питомниках первичного семеноводства // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2020. – № 3. – С. 43–47. – DOI: 10.35523/2307-5872-2020-32-3-43-47.
18. *Селекция* и первичное семеноводство льна-долгунца: метод. указ. / В.П. Понажев, Л.Н. Павлова, Т.А. Рожмина [и др.]. – Тверь, 2014. – С. 92–94.
19. *Янышина А.А., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А.* Первичное семеноводство льна-долгунца: метод. указ. – Тверь, 2010. – 59 с.
20. *ГОСТ 52325–2005*. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2005. – 20 с.
21. *Янышина А.А.* Сортовой грунтовой контроль льна-долгунца: метод. указ. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 21 с.
22. *Крылова Т.В., Лошакова Н.И.* Методические рекомендации по созданию искусственной полевой популяции возбудителей болезней льна. – Тверь, 2009. – 11 с.
23. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами стат. обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агрон. спец. – М.: Альянс. – 2011. – 350 с.

## REFERENCES

1. Novikov E.V., Basova N.V., Bezbabchenko A.V., *Tekhnicheskie kul'tury*, 2021, No. 1, pp. 30–40, DOI: 10.54016/svitok.1.1.005. (In Russ.)

2. Stepin A.D., Rysev M.N., Ryseva T.A., Utkina S.V., Romanova N.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2020, No. 21 (6), pp. 764–776, DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.764-776. (In Russ.)
3. Heller K., Sheng Q.C., Guan F., Alexopoulou E., Hua L.S., Wu G.W., et al., A comparative study between Europe and China in crop management of two types of flax: *linseed and fibre flax, Industrial Crops and Products,* 2015, Vol. 68, pp. 24–31, DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.07.010.
4. Yanyshina A.A., *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2021, No. 4 (56), pp. 85–90, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-85-90. (In Russ.)
5. Fila G., Montanari M., Maestrini C, Bagatta M., Bayesian analysis of cultivar and climate effects on seed and oil production in linseed, *Industrial Crops and Products*, 2024, Vol. 218, pp. 118883, DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118883.
6. Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V. et al., *Ekologicheskaya genetika*, 2018, Vol. 16, No. 4, pp. 33–50, DOI: 10.17816/ecogen16433-50. (In Russ.)
7. Baley C., Goudenhooft C., Gibaud M., Bourmaud A., Flax stems: from a specific architecture to an instructive model for bioinspired composite structures, *Bioinspir. Biomim,* 2018, Vol. 13, pp. 26007, DOI: 10.1088/1748-3190/aaa6b7.
8. Ponazhev V.P., Vinogradova E.G., *Tekhnicheskie kul'tury*, 2022, No. 1, pp. 30–39, DOI: 1054016/ svitok.2022.71.55.004. (In Russ.)
9. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Kozyakova N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 3 (56), pp. 55–65, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-55-65. (In Russ.)
10. Hue A., Buffet C., D'Arras P. et al., Winter flax: Stem structure, fibre properties and reinforcement potential for composite materials, *Industrial Crops and Products*, 2024, Vol. 217, pp. 1, DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118831.
11. Praczyk M., Kicinska-Jakubowska A., Romanowska B., MD Masud Alam, Wielgusz K., Banach J., Characteristics of the New Fiber Flax Variety HERA in Terms of Fiber Quality Parameters Regard to Agronomic Assessment and Seeds Quality, *Journal of natural fibers*, 2024, No. 1 (21), 2301669.
12. Bourmaud A., Gibaud M., Lefeuvre A., Morvan C., Baley C., Influence of the morphology characters of the stem on the lodging resistance of Marylin flax, *Industrial Crops and Products*, 2014, Vol. 66, pp. 27–37, DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.11.047.
13. Zueva S.M., Konova A.M., Gavrilova A.Yu., Traburova E.A., Chekhalkov S.M., *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2022, No. 12, pp. 31–35, DOI: 10.28983/asj.y2022i12pp31-35. (In Russ.)
14. Ponazhev V.P., Kozyakova N.N., *Agrarnaya nauka*, 2024, No. 1 (9), pp. 114–118, DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118. (In Russ.)
15. Proletova N.V., Zotova V.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 4, pp. 95–107. (In Russ.)
16. Bogdan V.Z., *Genofond, metody i rezul'taty selektsii l'na-dolguntsa (Linum usitatissimum L.) v Respublike Belarus'* (Gene pool, methods and results of fiber flax (Linum usitatissimum L.) selection in the Republic of Belarus), Abstract of Doctor of Agricultural Sciences, Zhodino, 2024, pp. 22–25.
17. Ponazhev V.P., Kozyakova N.N., *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2024, No. 3 (67), pp. 66–74, DOI: 10.18286/1816-4501-2024-3-66-74. (In Russ.)
18. Yanyshina A.A., Ponazhev V.P., *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2020, No. 3, pp. 43–47, DOI: 10.35523/2307-5872-2020-32-3-43-47. (In Russ.)
19. Ponazhev V.P., Pavlova L.N., Rozhmina T.A. et al., *Selektsiya i pervichnoe semenovodstvo l'na-dolguntsa* (Breeding and primary seed production of fiber flax), Tver, 2014, pp. 92–94.
20. Yanyshina A.A., Pavlova L.N., Rozhmina T.A., *Pervichnoe semenovodstvo l'na-dolguntsa* (Primary seed production of fiber flax), Tver, 2010, 59 p.
21. *GOST 52325-2005*. Seeds of agricultural plants. Varietal and sowing qualities. General specifications, Moscow: Standartiform, 2005, 20 p.
22. Yanyshina A.A., *Sortovoy gruntovoy kontrol' l'na-dolguntsa* (Varietal soil control of flax), Moscow: Russian Agricultural Academy, 1999, 21 p.
23. Krylova T.V., Loshakova N.I., *Metodicheskie rekomendatsii po sozdaniyu iskusstvennoy polevoy populyatsii vozbuditeley bolezney l'na* (Methodological recommendations for creating an artificial field population of flax pathogens), Tver, 2009, 11 p.
24. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Alliance, 2011, 295 p.

**Информация об авторах:**
*В.П. Понажев,* доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
*Н.В. Пролетова,* кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*V.P. Ponazhev,* Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher
*N.V. Proletova,* Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-158-167
УДК 633.1:632.51:632.911.4

# ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СОРНЯКОВ В ПОСЕВАХ ЗЕРНОВЫХ

**В.С. Риксен, В.А. Шпак**
*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия*
**E-mail:** riclog@mail.ru

**Для цитирования:** *Риксен В.С., Шпак В.А.* Глубокое обучение для автоматизированного мониторинга сорняков в посевах зерновых // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 158–167. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-158-167.

**Ключевые слова:** точное земледелие, сверточные нейронные сети, ResNet, классификация сорняков, аугментация данных, многоклассовая классификация.

**Реферат.** *Снижение урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием биотических стрессоров, таких как сорные растения, остается актуальной проблемой агроэкосистем. Традиционные методы мониторинга засоренности, основанные на визуальной оценке, трудоемки и субъективны. В данной работе предложен подход автоматизированной идентификации сорняков в посевах яровой пшеницы и ячменя с использованием сверточных нейронных сетей (СНС) ResNet. Цель исследования — разработка классификаторов на базе архитектур ResNet-18, ResNet-34 и ResNet-50 для обнаружения 16 видов сорных растений и определения необходимости гербицидной обработки. Датасет включал 138 изображений разрешением 1340×1790 пикселей, полученных с мобильной камеры, и данные фитосанитарного мониторинга с 66 учетных площадок (0,25 м²). Для компенсации малого объема данных применена аугментация (библиотека aug_transforms, PyTorch) с операциями: случайные повороты, масштабирование, коррекция яркости и контрастности. Это позволило расширить выборку – не менее пяти изображений на класс. Изображения предобрабатывались: масштабирование до 512×512 пикселей с последующим сжатием до 224×224 для совместимости с ResNet. Обучение моделей проводилось в течение ста эпох с оптимизатором Adam (batch size = 16), метриками качества служили accuracy_multi (доля верных классификаций) и F1-score. Все модели достигли высокой точности (accuracy_multi >95 %), однако F1-score варьировался от 0,60 до 0,74, что отражает сложности многоклассовой классификации. Наивысшие показатели F1 (0,74) продемонстрировала ResNet-18. Анализ матриц ошибок выявил проблемные классы: Convolvulusarvensis (6 ошибок), Sinapisarvensis (4 ошибки), что связано с недостаточной репрезентативностью данных. Классы 4, 7–10 и 14 распознавались с максимальной точностью. Также Confusion Matrix выявила неоднозначную эффективность глубоких архитектур ResNet.*

# DEEP LEARNING FOR AUTOMATED WEED MONITORING IN GRAIN CROPS

**V.S. Riksen, V.A. Shpak**
*Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia*
**E-mail:** riclog@mail.ru

**Keywords:** precision farming, convolutional neural networks, ResNet, weed classification, data augmentation, multi-class classification.

**Abstract.** *Crop yield reduction under the influence of biotic stressors such as weeds remains a pressing issue in agroecosystems. Traditional methods of weed infestation monitoring based on visual assessment are labor-intensive and subjective. In this paper, an approach to automated weed identification in spring wheat and barley crops using ResNet convolutional neural networks (CNNs) is proposed. The objective of the study was to develop classifiers based on ResNet-18, ResNet-34, and ResNet-50 architectures to detect 16 weed species and determine the need for herbicide treatment. The dataset included 138 images with a resolution of 1340 × 1790 pixels obtained from a mobile camera and phytosanitary monitoring data from 66 survey plots (0.25 m²). To compensate for the small amount of data, augmentation was used (aug_transforms library, PyTorch) with the following operations: random rotations, scaling, brightness and contrast correction. This allowed us to expand the sample by at least 5 images per class. The images were preprocessed: scaling to 512 × 512 pixels with subsequent compression to 224 × 224 for compatibility with ResNet. The models were trained for 100 epochs with the Adam optimizer (batch size = 16), the quality metrics were accuracy_multi (the proportion of correct classifications) and F1-score. All models*

*achieved high accuracy (accuracy_multi > 95%), but the F1-score ranged from 0.60 to 0.74, which reflects the complexity of multi-class classification. ResNet-18 demonstrated the highest F1 scores (0.74). Confusion matrix analysis revealed problematic classes: Convolvulusarvensis (6 errors), Sinapisarvensis (4 errors), which is due to insufficient data representativeness. Classes 4, 7–10, and 14 were recognized with the highest accuracy. Confusion Matrix also revealed ambiguous effectiveness of deep ResNet architectures.*

Сельскохозяйственные культуры сталкиваются с различными стрессовыми факторами, влияющими на их урожайность. Эти стрессы делятся на два типа: абиотический (засуха, переувлажнение, экстремальные температуры) и биотический, который, помимо вредителей, включает конкуренцию с сорными растениями. Сорняки, активно поглощая ресурсы и затеняя культурные растения, становятся ключевым биотическим стрессором, снижающим эффективность агроэкосистем [1–3].

Традиционные методы борьбы с сорняками основаны на визуальном осмотре полей фермерами или агрономами, что требует значительных временных и трудовых затрат. Ручная идентификация видов сорных растений, их локализации и плотности распространения часто сопряжена с субъективностью оценок и необходимостью привлечения специалистов [4, 5]. Раннее обнаружение сорных растений критически важно для своевременного применения гербицидов или механической прополки, предотвращающих снижение урожайности и экономические потери [6, 7]. В этом контексте технологии точного земледелия, такие как беспилотные летательные аппараты (БПЛА), цифровые камеры и искусственный интеллект (ИИ), предлагают революционные решения для автоматизированного мониторинга сорняков. Эти инструменты позволяют оперативно сканировать большие площади, минимизируя ручной труд и сокращая время анализа [8–11].

Сверточные нейронные сети (СНС) стали ключевым инструментом в области компьютерного зрения благодаря своей способности автоматически выделять признаки из изображений и точно распознавать объекты. Одной из передовых архитектур СНС является ResNet (Residual Network) [12], которая использует инновационный подход с остаточными связями. Благодаря этому ResNet способна обучаться на архитектурах с десятками и сотнями слоев, сохраняя высокую точность даже в сложных задачах, таких как классификация изображений с высокой детализацией [13].

В сельском хозяйстве ResNet активно применяется для анализа данных, полученных с помощью цифровых камер, дронов и спутников. Цифровые камеры, установленные на полях или сельскохозяйственной технике, обеспечивают непрерывный сбор данных в высоком разрешении, что критически важно для мониторинга состояния посевов. В сочетании с алгоритмами ResNet это позволяет автоматизировать процессы обнаружения сорняков, оценки густоты всходов и прогнозирования урожайности [14–18].

Исследования последних лет подтверждают, что ResNet демонстрирует исключительную эффективность в идентификации сорных растений. Например, архитектура успешно справляется с вариативностью условий съемки: изменениями освещенности, угла обзора, разрешения или наличия частичных препятствий (например, теней или капель воды на листьях) [19]. Это достигается за счет глубокого обучения, где сеть автоматически адаптируется к разнообразным сценариям, извлекая устойчивые признаки сорняков. Важным преимуществом ResNet является ее способность работать с большими массивами данных без потери производительности, что особенно актуально для сельского хозяйства, где анализ охватывает тысячи гектаров [20, 21].

Точность моделей ResNet в задачах классификации сорняков варьируется в диапазоне 83–94 % [22, 23]. Такой разрыв объясняется различиями в качестве исходных данных, настройкой гиперпараметров модели и условиями применения (например, тип культуры, стадия роста растений). Тем не менее даже минимальные значения точности превышают порог, необходимый для практического внедрения в системы автоматизированного мониторинга.

Цель данного исследования – разработка классификаторов на основе архитектур ResNet-18, ResNet-34 и ResNet-50 для идентификации сорняков на фоне зерновых культур и принятия решения о необходимости их гербицидной обработки.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для обучения СНС использовался датасет из 138 фотографий с разрешением 1340×1790 пикселей, полученных с помощью мобильной камеры, а также результаты фитосанитарного

мониторинга. Мониторинг сорняков проводился в фазу кущения пшеницы яровой и ячменя ярового на 66 учетных площадках (площадью 0,25 м$^2$) с использованием количественной методики учета сорняков.

Разметка данных осуществлялась на уровне всего изображения. Экспертом-агрономом каждому снимку присваивался набор бинарных меток (1 – наличие вида на снимке, 0 – отсутствие) для каждого из 16 целевых видов сорняков. Таким образом, задача была определена как многоклассовая многометочная классификация (multilabel classification), а не как детекция объектов. Такой подход был выбран в связи с конечной прикладной задачей – не точной локализацией каждого сорняка, а оценкой общего видового состава и принятием решения о необходимости обработки всего участка, соответствующего снимку (табл. 1).

*Таблица 1*

**Выделенные виды сорняков**
**Selected weed species**

| Идентификатор | Метка | Идентификатор | Метка |
|---|---|---|---|
| Chenopodiumalbum | 0 | Panicumcapillare | 8 |
| Cirsiumarvense | 1 | Pastinacasylvestris | 9 |
| Convolvulusarvensis | 2 | Persicariahydropiper | 10 |
| Echinochloacrus-galli | 3 | Sinapisarvensis | 11 |
| Equisetumarvense | 4 | Sonchusarvensis | 12 |
| Euphorbiavirgata | 5 | Stachyssylvatica | 13 |
| Fallopiaconvolvulus | 6 | Taraxacumofficinale | 14 |
| Lappulasquarrosa | 7 | Viciasativa | 15 |

В качестве основного инструмента выбраны сверточные нейросети ResNet (Residual Network) – архитектура, использующая остаточные блоки для улучшения обучения глубоких сетей. Ее преимущества включают высокую точность в задачах распознавания изображений и доступность предобученных моделей в рамках фреймворка PyTorch с упрощенным интерфейсом FastAi [12, 24]. В работе тестировались версии ResNet-18, ResNet-34 и ResNet-50.

Для компенсации ограниченного объема исходного набора данных была применена аугментация с использованием библиотеки aug_transforms в PyTorch. Набор преобразований включал случайные операции: вращение изображений, масштабирование, коррекцию яркости и контрастности. Это позволило расширить обучающую выборку для каждого класса сорняков – не менее пяти изображений. Перед обработкой исходные изображения приводились к разрешению 512×512 пикселей, а затем уменьшались до 224×224 пикселей – стандартного формата для архитектуры ResNet.

Основу классификатора составляет поэтапная обработка изображения с использованием ResNet. Исходный снимок последовательно проходит через чередующиеся компоненты сети: сверточные слои, активационные функции и pool-слои (рис. 1). Результатом работы модели является многомерный вектор, где каждый элемент отражает вероятность присутствия на изображении соответствующего класса объекта. Порог обнаружения установлен на уровне 50 %. Если значение превышает этот показатель, объект считается распознанным. Поскольку классификатор поддерживает мультиобъектную детекцию, на одном изображении может быть идентифицировано несколько объектов либо ни одного.

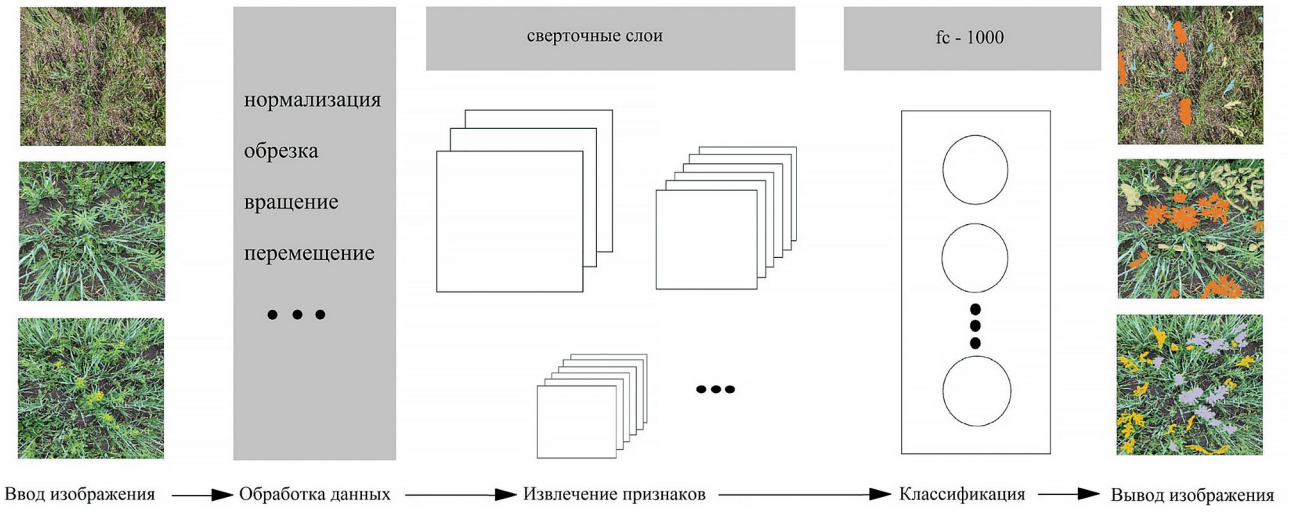



*Рис. 1.* Общее описание методологии классификации сорняков
General description of the weed classification methodology

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используемые нейросети обучались на основе тестовой выборки изображений (20 % обучающей выборки), которая применялась в рамках алгоритма обучения для повышения объективности и надежности моделей. Перед стартом тренировочного процесса были заданы ключевые параметры, включая количество эпох, размер пакета (батча), скорость обучения и другие гиперпараметры.

Модели обучались в течение ста эпох с оптимизатором Adam и размером пакета (batch size) 16. В качестве метрик использовались: accuracy_multi – доля верно классифицированных изображений (≥95 %); F1-score — баланс между точностью (способность избегать ложных срабатываний) и полнотой (выявление всех целевых объектов), достигший значений 0,60–0,74 (табл. 2).

*Таблица 2*

**Результаты обучения нейросетей ResNet'-ов по эпохам**
**Results of training ResNet neural networks by epochs**

| Epoch | train_loss | valid_loss | accuracy_multi | F1 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ResNet-18 | | | | |
| 1 | 1.069608 | 0.873279 | 0.171296 | 0.175209 |
| 30 | 0.558045 | 0.267663 | 0.680556 | 0.335875 |
| 60 | 0.157689 | 0.109132 | 0.953704 | 0.733093 |
| 100 | 0.075273 | 0.104148 | 0.958333 | 0.744048 |
| ResNet-34 | | | | |
| 1 | 1.128942 | 1.057829 | 0.210648 | 0.163933 |
| 30 | 0.558365 | 0.313367 | 0.615741 | 0.283189 |
| 60 | 0.135921 | 0.160684 | 0.946759 | 0.679255 |
| 100 | 0.057955 | 0.157266 | 0.953704 | 0.687047 |
| ResNet-50 | | | | |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.090715 | 0.792652 | 0.185185 | 0.176185 |
| 30 | 0.516696 | 0.291023 | 0.645833 | 0.305252 |
| 60 | 0.114173 | 0.112951 | 0.958333 | 0.587990 |
| 100 | 0.045747 | 0.125068 | 0.962963 | 0.602195 |

Полученные оценки говорят о достаточно высоком качестве всех классификаторов и пригодности их применения в принятии решения о необходимости гербицидной обработки сорных растений.

На рис. 2 иллюстрируется алгоритм работы классификаторов. Верхняя надпись описывает образец с истинными видами засоренности, надпись ниже – прогнозные метки засоренности для этого образца согласно классификатору. Идентификатор с меткой «1» обозначает участки с засоренностью сорняками выше ЭПВ и говорит о необходимости гербицидной обработки.

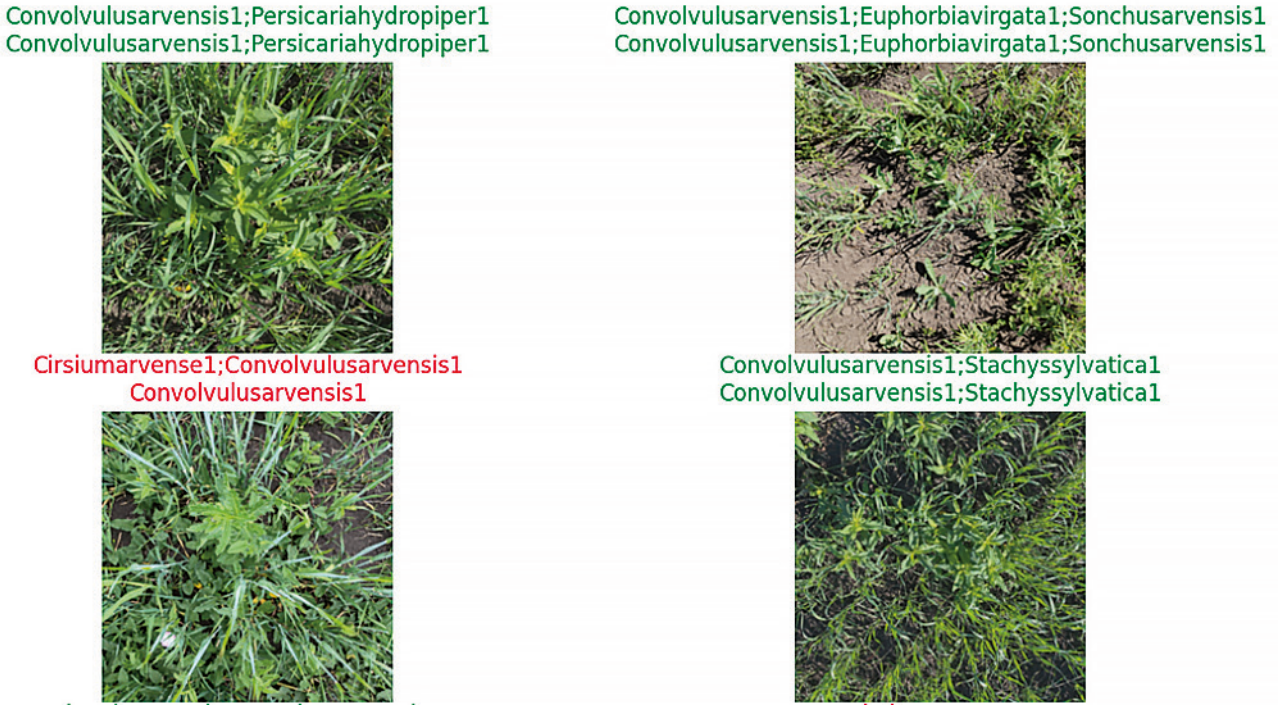



*Рис. 2.* Результат классификации четырех снимков
Classification result of four images

Для оценки качества построены матрицы ошибок (Confusion Matrix) по схеме «один против всех» (рис. 3–5). В строках матрицы (размерности 2×2) отображается распределение снимков по их фактическим меткам: Y – изображения, относящиеся к целевому классу засоренности (истинные позитивные случаи); N – совокупность снимков всех остальных классов (истинные негативные случаи). Столбцы матрицы соответствуют прогнозам модели: Y – снимки, классифицированные как целевой класс; N – снимки, отнесенные к другим категориям. Диагональ матрицы слева направо показывает изображения, которые были классифицированы верно (правильные прогнозы), вне диагонали отражается неверная классификация (неправильные прогнозы). Такое представление позволяет локализовать проблемные зоны классификации и оценить, какие классы чаще всего путает модель.

Классы 1, 4, 7–10 и 13–15 были распознаны с высокой точностью, достигнув общего числа верных классификаций 138 (см. рис. 3). Наименьшая точность наблюдается для классов 2 (Convolvulusarvensis) и 11 (Sinapisarvensis), где было зафиксировано 6 и 4 ошибочных классификаций соответственно.

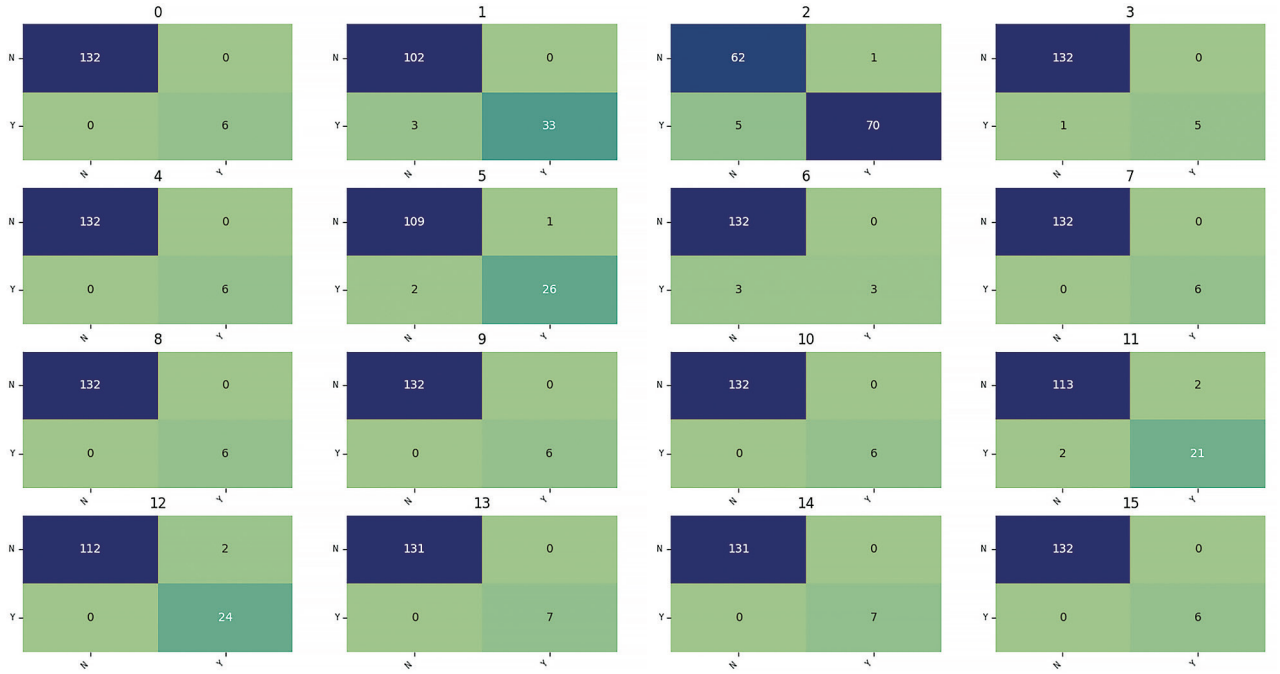



*Рис. 3.* Confusion matrix для классов засоренности для ResNet-18
Confusion matrix for contamination classes for ResNet-18

Матрица ошибок демонстрирует значительное ухудшение качества классификации при переходе к модели ResNet-34 (см. рис. 4). В сравнении с ResNet-18 количество абсолютно корректных предсказаний снизилось до одного случая (класс Chenopodiumalbum), что опровергает эффективность более глубокой архитектуры в обработке сложных признаков изображений. Классы Convolvulusarvensis и Sonchusarvensis стали источниками пяти ошибок. Это может быть связано с недостаточной репрезентативностью образцов в обучающей выборке.

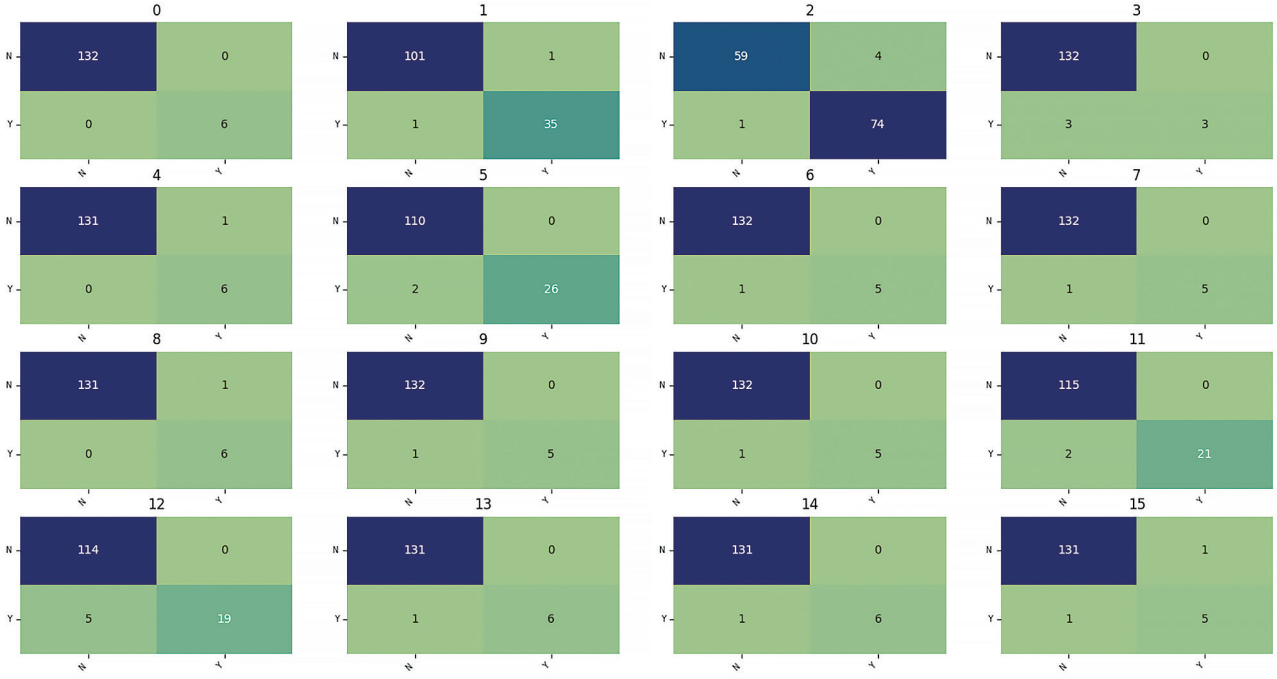



*Рис. 4.* Confusion matrix для классов засоренности для ResNet-34
Confusion matrix for contamination classes for ResNet-34

Матрица ошибок выявила снижение эффективности модели ResNet-34 по сравнению с ResNet-18, что ставит под сомнение преимущество глубокой архитектуры для анализа сложных признаков.

Модель ResNet-50 показывает восемь примеров абсолютно точной классификации (см. рис. 5), что на семь результатов превышает показатели ResNet-34. При этом количество верных и ошибочных предсказаний 34-слойной сети оказалось сопоставимым с ResNet-18.

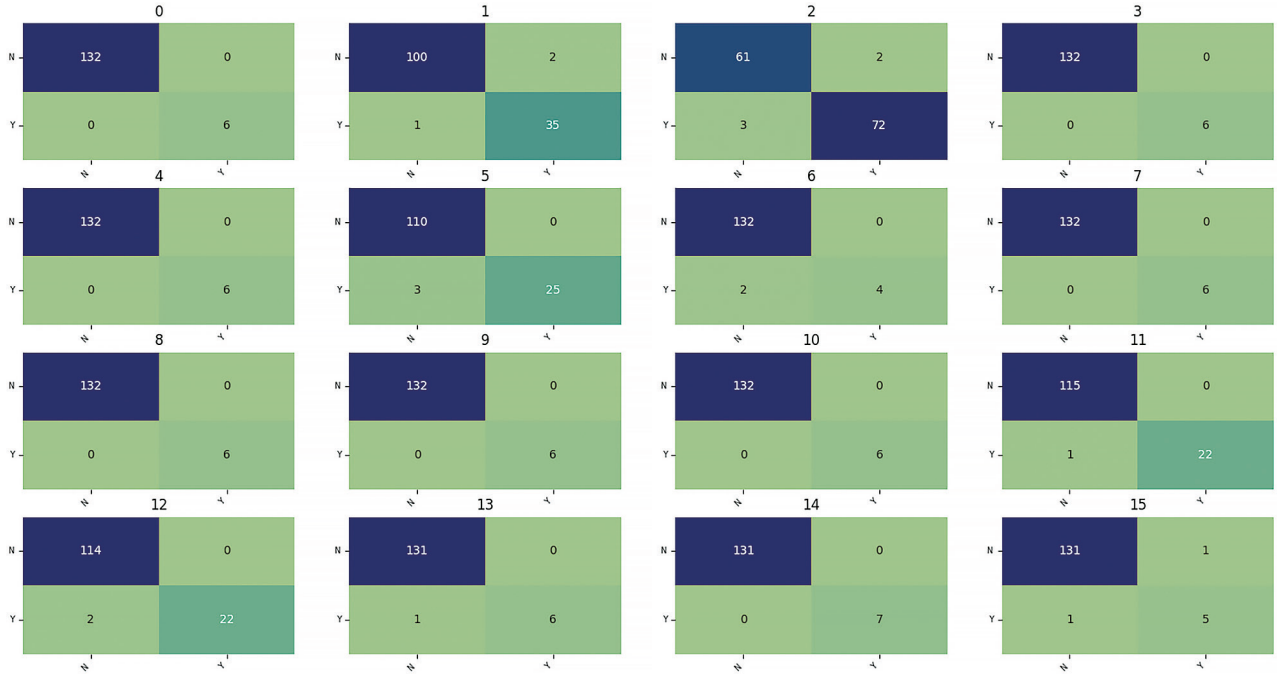



*Рис. 5.* Confusion matrix для классов засоренности для ResNet-50
Confusion matrix for contamination classes for ResNet-50

Несмотря на увеличение вычислительных ресурсов на 40 % для обучения и инференса, более сложная архитектура ResNet-50 демонстрирует лишь незначительное улучшение точности, что делает ее применение менее оправданным в сравнении с менее затратной ResNet-18.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предложенный подход демонстрирует конкурентоспособные результаты в области автоматизации мониторинга сорняков. Полученная accuracy_multi (>95 %) для всех тестируемых архитектур ResNet сопоставима с показателями аналогичных исследований, где точность обычно варьируется в диапазоне 83–97 % [19, 22]. Однако более низкие значения F1-score (0,60–0,74) по сравнению с F1 = 0,81 в работе de Camargo et al. (2021) подчеркивают специфические вызовы многоклассовой классификации при ограниченном объеме данных.

Выбор архитектур ResNet-18, ResNet-34 и ResNet-50 для данного исследования был обусловлен рядом факторов. Во-первых, архитектура ResNet является отраслевым стандартом для задач классификации изображений благодаря использованию остаточных блоков, решающих проблему затухания градиентов в глубоких сетях, и имеет широкую эмпирическую поддержку в сельскохозяйственных приложениях [12, 19, 22]. Во-вторых, эти конкретные модели представляют собой последовательность с увеличивающейся глубиной и сложностью (от 18 до 50 слоев), что позволяет экспериментально оценить влияние глубины сети на качество классификации при ограниченном объеме данных.

Результаты анализа показывают неоднозначную эффективность глубоких архитектур ResNet. Классы 4, 7–10 и 14 демонстрируют высокую точность (138 верных классификаций), однако классы 2 (Convolvulusarvensis), 1 (Cirsiumarvense), 5 (Euphorbiavirgata) и 11 (Sinapisarvensis) выделяются низкой точностью, вероятно, из-за недостаточной репрезентативности данных. Переход к ResNet-34 привел к резкому снижению качества: лишь один абсолютно верный прогноз (Chenopodiumalbum) против результатов ResNet-18, что ставит под сомнение целесообраз-

ность увеличения глубины сети. Несмотря на улучшение ResNet-50 (8 точных классификаций), ее производительность сопоставима с ResNet-18 при росте вычислительных затрат на 40 %, что делает ResNet-18 более оптимальным выбором для задач с ограниченными ресурсами. Основные ошибки связаны с классами, требующими расширения обучающей выборки.

Таким образом, работа подтверждает эффективность ResNet-18 в качестве компромиссного решения для автоматизированного мониторинга сорняков при ограниченных вычислительных ресурсах, но отмечает необходимость стратегий сбора данных для устойчивой работы в гетерогенных агросредах.

## ВЫВОДЫ

1. Аугментация данных (aug_transforms, PyTorch) увеличила обучающую выборку в 6 раз за счет поворотов, масштабирования и коррекции яркости, сохранив семантику изображений. Это улучшило способность моделей к обобщению и компенсировало дефицит исходных данных.

2. Предобработка изображений (сжатие до 512×512 → масштабирование до 224×224, RGB-каналы) обеспечила совместимость с ResNet, сохранив информативность и снизив вычислительные затраты.

3. Обучение моделей (100 эпох, batch size = 16, Adam) достигло высокой точности (accuracy_multi >95 %), но умеренные значения F1-меры (0,60–0,74) отразили сложности многоклассовой классификации из-за внутривидовой вариативности сорняков и артефактов съемки.

4. Классы 4, 7–10 и 14 показали высокую точность (138 верных классификаций), тогда как классы 2 (Convolvulusarvensis), 1 (Cirsiumarvense), 5 (Euphorbiavirgata) и 11 (Sinapisarvensis) стали проблемными (6–4 ошибок), вероятно, из-за недостаточной репрезентативности данных.

5. ResNet-34 продемонстрировал резкое снижение качества: один абсолютно верный прогноз (Chenopodiumalbum) против девяти у ResNet-18, что ставит под сомнение эффективность глубоких архитектур.

6. ResNet-50 улучшила точность (восемь абсолютно верных классификаций), но ее производительность сопоставима с ResNet-18 при росте вычислительных затрат на 40 %, что делает ResNet-18 более практичным решением.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Compound* heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change / C. Lesk, W. Anderson, A. Rigden [et al.] // Nature Reviews Earth & Environment. – 2022. – Vol. 3, No. 12. – P. 872–889. – DOI: 10.1038/s43017-022-00368-8.
2. *Plant* adaptations to the combination of drought and high temperatures / SI. Zandalinas, R. Mittler, D. Balfagón [et al.] // Physiologia plantarum. – 2018. – Vol. 162, No. 1. – P. 2–12. – DOI: 10.1111/ppl.12540.
3. *Chilling* and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities / H.A. Hussain, S. Hussain, A. Khaliq [et al.] // Frontiers in plant science. – 2018. – Vol. 9. – P. 393. – DOI: 10.3389/fpls.2018.00393.
4. *Zimdahl R.L., Basinger N.T.* Fundamentals of weed science // Elsevier. – 2024. – P. 560.
5. *An ecological* future for weed science to sustain crop production and the environment. A review / C. MacLaren, J. Storkey, A. Menegat [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. – 2020. – Vol. 40. – P. 1–29. – DOI: 10.1007/s13593-020-00631-6.
6. *Simard M.J., Laforest M.* Early detection and management of herbicide-resistant weeds // Canadian Journal of Plant Science. – 2024. – Vol. 104, № 6. – P. 533–539. – DOI: 10.1139/cjps-2024-0021.
7. *Geddes C.M., Page E.R., Bae J.* Forging new paths to manage herbicide-resistant weeds // Canadian Journal of Plant Science. – 2024. – Vol. 105. – P. 1–5. – DOI: 10.1139/cjps-2024-0190.
8. *Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X.* Deep learning in agriculture: A survey // Computers and electronics in agriculture. – 2018. – Vol. 147. – P. 70–90. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.016.
9. *Early* detection of broad-leaved and grass weeds in wide row crops using artificial neural networks and UAV imagery / J. Torres-Sánchez, F.J. Mesas-Carrascosa, F.M. Jiménez-Brenes [et al.] // Agronomy. – 2021. – Vol. 11, № 4. – P. 749. – DOI: 10.3390/agronomy11040749.
10. *Boosting* precision crop protection towards agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies: A contextual review / G.A. Mesías-Ruiz, M. Pérez-Ortiz, J. Dorado [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 14. – P. 1143326. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1143326.

11. *Towards* reducing chemical usage for weed control in agriculture using UAS imagery analysis and computer vision techniques / R. Sapkota, J. Stenger, M. Ostlie, P. Flores // Scientific reports. – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 6548. – DOI: 10.1038/s41598-023-33042-0.
12. *Deep* residual learning for image recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – P. 770–778. – DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.
13. *Shufflenet*: An extremely efficient convolutional neural network for mobile devices / X. Zhang, X. Zhou, M. Lin, J. Sun // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – P. 6848–6856.
14. *Mulla D.J.* Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // Biosystems engineering. – 2013. – Vol. 114, № 4. – P. 358–371. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
15. *Drones* in agriculture: A review and bibliometric analysis, Computers and electronics in agriculture / A. Rejeb, A. Abdollahi, K. Rejeb, H. Treiblmaier. – 2022. – Vol. 198. – P. 107017. – DOI: 10.1016/j.compag.2022.107017.
16. *MDFC–ResNet*: An agricultural IoT system to accurately recognize crop diseases / W.J. Hu, J. Fan, Y.X. Du [et al.] // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 115287–115298. – DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3001237.
17. *Yağ İ., Altan A.* Artificial intelligence-based robust hybrid algorithm design and implementation for real-time detection of plant diseases in agricultural environments // Biology. – 2022. – Vol. 11, № 12. – P. 1732. – DOI: 10.3390/biology11121732.
18. *A review* on UAV-based applications for plant disease detection and monitoring / L. Kouadio, M. El Jarroudi, Z. Belabess [et al.] // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, № 17. – P. 4273. – DOI: 10.3390/rs15174273.
19. *Weed* identification in maize, sunflower, and potatoes with the aid of convolutional neural networks / G.G. Peteinatos, P. Reichel, J. Karouta [et al.] // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, № 24. – P. 4185. – DOI: 10.3390/rs12244185.
20. *Li D., Li Y., Zhang Z.* Analysis of convolutional neural networks-based approaches in fruit disease detection for smart agriculture applications // Journal of Optics. – 2024. – Vol. 53. – P. 4256–4265. – DOI: 10.1007/s12596-023-01592-1.
21. *Phenotyping* alfalfa (Medicago sativa L.) root structure architecture via integrating confident machine learning with ResNet-18 / B.J. Weihs, Z. Tang, Z. Tian [et al.] // Plant Phenomics. – 2024. – Vol. 6. – P. 0251. – DOI: 10.34133/plantphenomics.0251.
22. *Optimized* deep learning model as a basis for fast UAV mapping of weed species in winter wheat crops / T. de Camargo, M. Schirrmann, N. Landwehr [et al.] // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, № 9. – P. 1704. – DOI: 10.3390/rs13091704.
23. *Риксен В.С., Шпак В.А.* Использование методов глубокого обучения для обнаружения и классификации сорняков в посевах Fagopyrum esculentum // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 12 (313). – С. 5–14. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-12-1.
24. *Ховард Д., Гуггер С.* Глубокое обучение с fastai и PyTorch: минимум формул, минимум кода, максимум эффективности. – СПб., 2023. – 624 с.

## REFERENCES

1. Lesk C., Anderson W., Rigden A., Coast O., Jägermeyr J., McDermid S., Davis KF., Konar M., Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change, *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, Vol. 3, No. 12, pp. 872–889, DOI: 10.1038/s43017-022-00368-8.
2. Zandalinas SI., Mittler R., Balfagón D., Arbona V., Gómez-Cadenas A., Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures, *Physiologia plantarum,* 2018, Vol. 162, No. 1, pp. 2–12, DOI: 10.1111/ppl.12540.
3. Hussain H. A., Hussain S., Khaliq A., Ashraf U., Anjum S. A., Men S., Wang L., Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities, *Frontiers in plant science*, 2018, Vol. 9, P. 393, DOI: 10.3389/fpls.2018.00393.
4. Zimdahl R.L., Basinger N.T., Fundamentals of weed science, *Elsevier*, 2024, P. 560.
5. MacLaren C., Storkey J., Menegat A., Metcalfe H., Dehnen-Schmutz K., An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 2020, Vol. 40, pp. 1–29, DOI: 10.1007/s13593-020-00631-6.
6. Simard M.J., Laforest M., Early detection and management of herbicide-resistant weeds, *Canadian Journal of Plant Science*, 2024, Vol. 104, No. 6, pp. 533–539, DOI: 10.1139/cjps-2024-0021.
7. Geddes C.M., Page E.R., Bae J., Forging new paths to manage herbicide-resistant weeds, *Canadian Journal of Plant Science*, 2024, Vol. 105, pp. 1–5, DOI: 10.1139/cjps-2024-0190.
8. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X., Deep learning in agriculture: A survey, *Computers and electronics in agriculture*, 2018, Vol. 147, pp. 70–90, DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.016.
9. Torres-Sánchez J., Mesas-Carrascosa F.J., Jiménez-Brenes F.M., de Castro A.I., & López-Granados F., Early detection of broad-leaved and grass weeds in wide row crops using artificial neural networks and UAV imagery, *Agronomy*, 2021, Vol. 11, No. 4, P. 749, DOI: 10.3390/agronomy11040749.

10. Mesías-Ruiz G.A., Pérez-Ortiz M., Dorado J., De Castro A.I., Peña J.M., Boosting precision crop protection towards agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies: A contextual review, *Frontiers in Plant Science*, 2023, Vol. 14, P. 1143326, DOI: 10.3389/fpls.2023.1143326.
11. Sapkota R., Stenger J., Ostlie M., Flores P., Towards reducing chemical usage for weed control in agriculture using UAS imagery analysis and computer vision techniques, *Scientific reports*, 2023, Vol. 13, No. 1, P. 6548, DOI: 10.1038/s41598-023-33042-0.
12. He K., Zhang X., Ren S., Sun J., Deep residual learning for image recognition, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 770–778, DOI: 10.1109/CVPR.2016.90
13. Zhang X., Zhou X., Lin M., Sun J., Shufflenet: An extremely efficient convolutional neural network for mobile devices, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2018, pp. 6848–6856.
14. Mulla D.J., Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps, *Biosystems engineering*, 2013, Vol. 114, No. 4, pp. 358–371, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
15. Rejeb A., Abdollahi A., Rejeb K., Treiblmaier H., Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis, *Computers and electronics in agriculture*, 2022, Vol. 198, P. 107017, DOI: 10.1016/j.compag.2022.107017.
16. Hu W.J., Fan J., Du Y.X., Li B.S., Xiong N., Bekkering E., MDFC–ResNet: An agricultural IoT system to accurately recognize crop diseases, *IEEE Access,* 2020, Vol. 8, pp. 115287–115298, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3001237.
17. Yağ İ., Altan A., Artificial intelligence-based robust hybrid algorithm design and implementation for real-time detection of plant diseases in agricultural environments, *Biology*, 2022, Vol. 11, No. 12, pp. 1732, DOI: 10.3390/biology11121732.
18. Kouadio L., El Jarroudi M., Belabess Z., Laasli S.-E., Roni M.Z.K., Amine I.D.I., Mokhtari N., Mokrini F., Junk J., Lahlali R., A review on UAV-based applications for plant disease detection and monitoring, *Remote Sensing*, 2023, Vol. 15, No. 17, pp. 4273, DOI: 10.3390/rs15174273.
19. Peteinatos G.G., Reichel P., Karouta J., Andújar D., Gerhards R., Weed identification in maize, sunflower, and potatoes with the aid of convolutional neural networks, *Remote Sensing*, 2020, Vol. 12, No. 24, pp. 4185, DOI: 10.3390/rs12244185.
20. Li D., Li Y., Zhang Z., Analysis of convolutional neural networks-based approaches in fruit disease detection for smart agriculture applications, *Journal of Optics*, 2024, Vol. 53, pp. 4256–4265, DOI: 10.1007/s12596-023-01592-1.
21. Weihs B.J., Tang Z., Tian Z., Heuschele D.J., Siddique A., Terrill T.H., Zhang Z., York L.M., Zhang Z., Xu Z., Phenotyping alfalfa (Medicago sativa L.) root structure architecture via integrating confident machine learning with ResNet-18, *Plant Phenomics*, 2024, Vol. 6, P. 0251, DOI: 10.34133/plantphenomics.0251.
22. de Camargo T., Schirrmann M., Landwehr N., Dammer K. H., Pflanz M., Optimized deep learning model as a basis for fast UAV mapping of weed species in winter wheat crops, *Remote Sensing*, 2021, Vol. 13, No. 9, pp. 1704, DOI: 10.3390/rs13091704.
23. Riksen V.S., SHpak V.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2024, Vol. 54, No. 12 (313), pp. 5–14. (In Russ.)
24. Hovard D., Gugger S., *Glubokoe obuchenie s fastai i PyTorch: minimum formul, minimum koda, maksimum effektivnosti* (Deep Learning with Fastai and PyTorch: Minimum Formulas, Minimum Code, Maximum Efficiency), Sankt-Peterburg, 2023, 624 p. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*В.С. Риксен,* кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник
*В.А. Шпак,* кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*V.S. Riksen,* PhD in Agricultural Sciences, Junior Researcher
*V.A. Shpak***,** PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-168-179
УДК 635.21:631.531.02:631.588.5

# ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СОРТА ЧАРОИТ НА АЭРОГИДРОПОННЫХ УСТАНОВКАХ

**[1]М.С. Романова, [1]Е.В. Хаксар, [1,2,3,4]Ю.В. Чудинова, [2]О.Н. Колбина**

*[1]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия*

*[2]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

*[3]Томский государственный архитектурно-строительный университет,Томск, Россия*

*[4]Высшая инженерная школа агробиотехнологий,Томск, Россия*

**E-mail:** thefinder@mail.ru

**Для цитирования:** *Изучение* эффективности использования различных источников освещения при выращивании растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках / М.С. Романова, Е.В. Хаксар, Ю.В. Чудинова, О.Н. Колбина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 168–179. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-168-179.

**Ключевые слова:** картофель, сорт Чароит, источники освещения, аэрогидропонная установка, рост, развитие растений.

**Реферат.** *Процесс семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования in vitro апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием миниклубней в защищенных условиях. Наиболее перспективные методы – гидропонный и аэрогидропонный способы выращивания растений, для повышения продуктивности и качества картофеля используют дополнительное освещение. Работа проводилась в СибНИИСХиТ – филиале СФНЦА РАН. Объект – оздоровленные материнские микроклоны картофеля Solanum tuberosum L. сорта Чароит. Растения in vitro были высажены на аэрогидропонные установки серии «Фагро», оснащенные лампами с различным спектром освещения. Изучено влияние различных источников освещения на следующие морфометрические параметры развития: высота растений, количество листьев, длина корневой системы, средняя масса надземной части и корневой системы. Установлено влияние различных источников освещения на среднее количество мини-клубней с одного растения, среднюю массу одного мини-клубня, максимальную и минимальную массу мини-клубней и фракционный состав мини-клубней. При культивировании растений картофеля сорта Чароит аэрогидропонным способом рекомендовано использовать тип освещения со световым потоком 225 umol/m2/s. Результаты данной работы позволят оптимизировать семеноводческий процесс картофеля. Работа выполнена при поддержке администрации Томской области в рамках НИР «Разработка элементов технологии получения оздоровленного семенного материала картофеля российских сортов в лабораторных условиях».*

# STUDYING THE EFFECTIVENESS OF USING DIFFERENT LIGHTING SOURCES IN GROWING CHAROIT POTATO PLANTS IN AEROHYDROPONIC SYSTEMS

**[1]M.S. Romanova, [1]E.V. Khaksar, [1,2,3,4]Yu.V. Chudinova, [2]O.N. Kolbina**

*[1]Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology RAS, Novosibirsk, Russia*

*[2]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

*[3]Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia*

*[4]Higher Engineering School of Agrobiotechnology, Tomsk, Russia*

**E-mail:** thefinder@mail.ru

**Keywords:** potato, light sources, aerohydroponic system, plant growth, plant development, Charoit variety.

**Abstract.** *The seed potato breeding process involves combining biotechnological methods of plant sanitation based on in vitro apical meristem culture technology and sterile plant cultivation followed by the growth of mini-tubers under protected conditions. Among the most promising methods are hydroponic and aerohydroponic techniques for cultivating plants, where additional lighting is used to enhance productivity and quality of potatoes. This study was conducted at the Siberian Research Institute of Agriculture and Peet, which is part of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS). Object of study: healthy maternal micro-clones of potato (Solanum tuberosum L.) variety Charoit. In vitro plants were*

*planted onto «Fagro» series aerohydroponic systems equipped with lamps emitting various spectrums of light. The influence of different light sources on morphometric development parameters such as plant height, number of leaves, root system length, average aboveground mass, and root system mass was investigated. Additionally, we studied how different types of illumination affect key characteristics including: Average number of mini-tubers per plant, Average weight of one mini-tuber, Maximum and minimum weights of mini-tubers, Fractional composition of mini-tubers. It has been determined that when cultivating Charoit variety potatoes using an aerohydroponic method, it is recommended to use lighting with a light intensity of 225 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$. These results will allow optimization of the seed-breeding process for potatoes.*

Картофель – важнейшая сельскохозяйственная культура для ряда регионов России. Многочисленные исследования посвящены разработке ключевых проблем современного картофелеводства с предложением практических рекомендаций по повышению продуктивности и снижению издержек в технологии выращивания этой культуры [1, 2].

Процесс семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования *in vitro* апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием мини-клубней в защищенных условиях. Наиболее перспективные методы – гидропонный и аэрогидропонный способы выращивания растений, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы [3].

Для повышения продуктивности и качества картофеля используют дополнительное освещение [4–12]. Наиболее распространенными источниками освещения остаются натриевые газоразрядные лампы высокого давления (НГР), металлогалогенные светильники, светодиоды (LED) и флуоресцентные лампы. Каждый тип имеет специфические характеристики спектра, интенсивности и энергосбережения, что оказывает значительное влияние на формирование урожая. Показано, что применение светодиодных фитосветильников с оптимальным спектром красного и синего цвета улучшает темпы роста надземной части и способствует увеличению массы клубней [4]. Отмечено преимущество использования комбинированных схем освещения, включающих комбинации нескольких видов ламп, направленных на создание оптимальных условий для каждой фазы жизненного цикла растений картофеля [5]. Гибридные схемы позволяют значительно повысить общую производительность аэрогидропонных установок, особенно в условиях недостатка естественного солнечного света. В ряде работ подчеркнута важность выбора правильного соотношения спектров подсветки, поскольку избыточное количество определенных цветов (например, голубых длин волн) способно негативно сказываться на росте растений и вызывать задержку в развитии клубней [6]. Отмечено положительное воздействие технологий направленного освещения для стимуляции устойчивости растений к болезням и стрессовым факторам окружающей среды, определены оптимальные условия освещения для повышения урожайности и качества растений картофеля, выявлены особенности их реакции на разные спектры света. Нами ранее также получены результаты по влиянию различных видов освещения на рост и развитие оздоровленных растений картофеля сорта Антонина [7].

В ряде работ показана перспективность использования программируемых многоцветных диодных панелей, способных имитировать естественный солнечный цикл и создавать оптимальное освещение для каждого этапа вегетационного периода [8]. Важная роль отводится экологическим аспектам (экономия электроэнергии, минимизация негативного воздействия на окружающую среду), что особенно актуально в свете современных тенденций устойчивого сельского хозяйства и требований экологической безопасности.

Таким образом, проведенные в данном направлении исследования ряда ученых позволяют сделать вывод о том, что при получении мини-клубней картофеля на аэрогидропонных установках важные показатели – качество питательного раствора и спектральный состав света – оказывают существенное влияние на процессы роста, регенерации и ризогенеза растений. В целом при анализе поиска оптимальных источников освещения показано, что в семеноводстве картофеля широко используют аэрогидропонные установки, укомплектованные натриевыми лампами высокого давления мощностью 400–600 ватт, также активно используют люминесцентные лампы. Светотехническая промышленность, как отечественная, так и зарубежная, особенно в условиях импортозамещения, выпускает широкий ассортимент светодиодных ламп, имеющих перспективы использования в растениеводстве.

Цель исследования – изучить влияние различных источников освещения на рост и развитие растений картофеля сорта Чароит при выращива-

нии на аэрогидропонных установках, оснащенных лампами с различным спектром освещения.

В задачи исследования входило: изучение морфометрических показателей, оценка продуктивности, анализ фракционного состава мини-клубней.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась в СибНИИСХиТ – филиале СФНЦА РАН в 2019 г. Объект – оздоровленные материнские микроклоны картофеля *Solanum tuberosum* L. сорта Чароит, полученные из апикальных меристем путем культивирования на питательной среде. Ранее для оздоровления картофеля проводился поиск базовых клонов в полевых условиях. Урожай каждого отобранного клона помещали в отдельный пакет и закладывали на хранение. После термотерапии клубни проращивали для получения этиолированных ростков размером 2–3 см. После появления из меристемы полноценного пробирочного растения проводили его микроклональное размножение и закладку опыта.

Полученные растения картофеля *in vitro* были высажены на аэрогидропонные установки серии «Фагро», оснащенные лампами с различным спектром освещения (рис. 1).

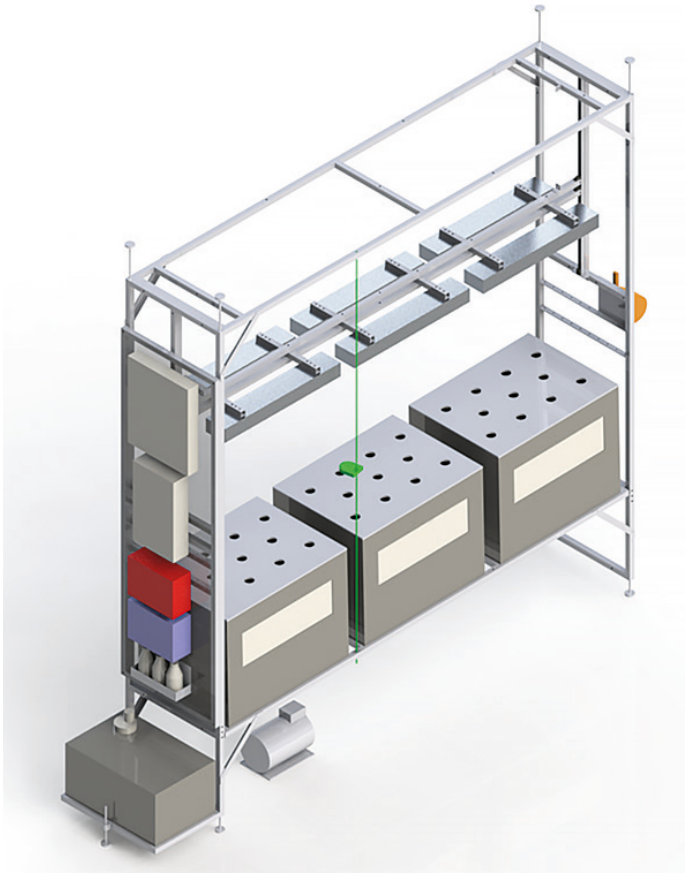


*Рис. 1.* Аэрогидропонная установка серии «Фагро»
Aero Hydroponic system of the Fargo series

На каждую установку было высажены растения картофеля сорта Чароит в количестве 21 шт. Перед высадкой растения отмывали от остатков агаризованной среды для предотвращения попадания остатков агар-агара в систему активного питания. Выращивание растений картофеля на аэрогидропонных установках проводили в два этапа: сначала в условиях длинного дня (16-часовой фотопериод) на питательном растворе для первой и второй фаз роста, режим впрыска раствора 40 с, аэрация 3 мин, температура 20–22 °С, затем в условиях короткого дня (10–12-часовой фотопериод) на питательном растворе для третьей фазы роста растений, режим впрыска раствора 1 мин, аэрация 15 мин, температура 16–18 °С.

Контроль и корректировку pH производили ежедневно, раствор меняли раз в неделю. Период выращивания картофеля составил 90 дней. После

появления мини-клубней осуществлялся их сбор, изучение и анализ.

Выращивание растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках осуществляли с использованием четырех разных типов источников освещения: это полноспектральные светодиоды с регулированием уровня освещения и углом раскрытия светового потока не более 60 градусов.

Основные характеристики ламп представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Основные характеристики светодиодных ламп**
**Main characteristics of LED lamps**

| Тип освещения | Мощность, Вт | Световой поток, umol/m²/s | Максимум излучения, нм |
|---|---|---|---|
| Первая установка | 1100 | 162 | 660 |
| Вторая установка | 1100 | 225 | 660 |
| Третья установка | 1100 | 205 | 660 |
| Четвертая установка | 1100 | 214 | 660 |

Данные источники освещения позволяют сократить энергозатраты в силу высокой светоотдачи светодиодов, отсутствия в спектре излучения составляющих, мало влияющих на рост растений, длительного рабочего ресурса, возможности регуляции потребляемой мощности и угла раскрытия, светового потока, который освещает только листовую поверхность растений. Распределение светодиодов по поверхности лампы позволяет получить равномерный световой поток на всей поверхности секции. Материал корпуса лампы – экструдированный алюминий – позволяет обеспечивать пассивное охлаждение светодиодов в их рабочем температурном диапазоне. Для увеличения надежности работы системы освещения установлена защита от перегорания, при этом при выходе из строя одного или нескольких светодиодов остальные продолжают работать. Питание светодиодов обеспечивают источники питания с защитой от короткого замыкания и перегрева и возможностью регулирования уровня выходной мощности управляющими сигналами от основного IoT контроллера. На рис. 2–5 показаны их спектры.

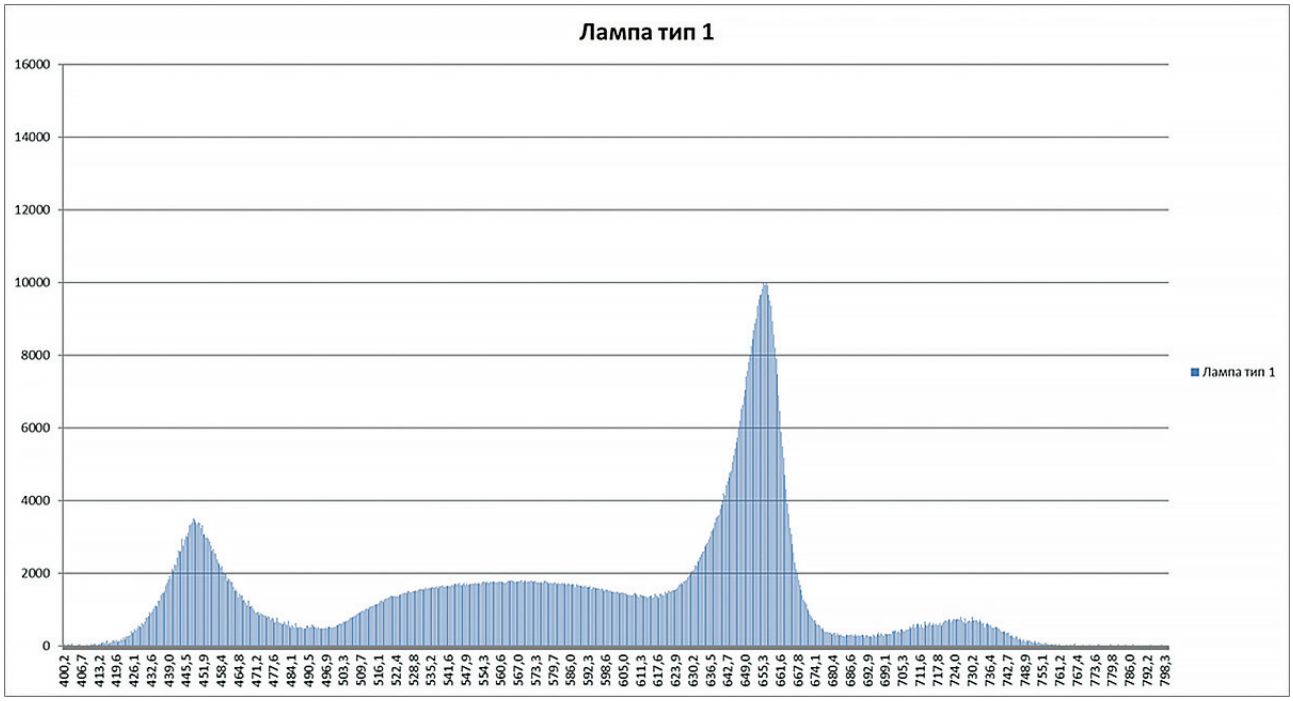



*Рис. 2.* Спектр светодиодных ламп № 1
LED Lamp Spectrum No. 1

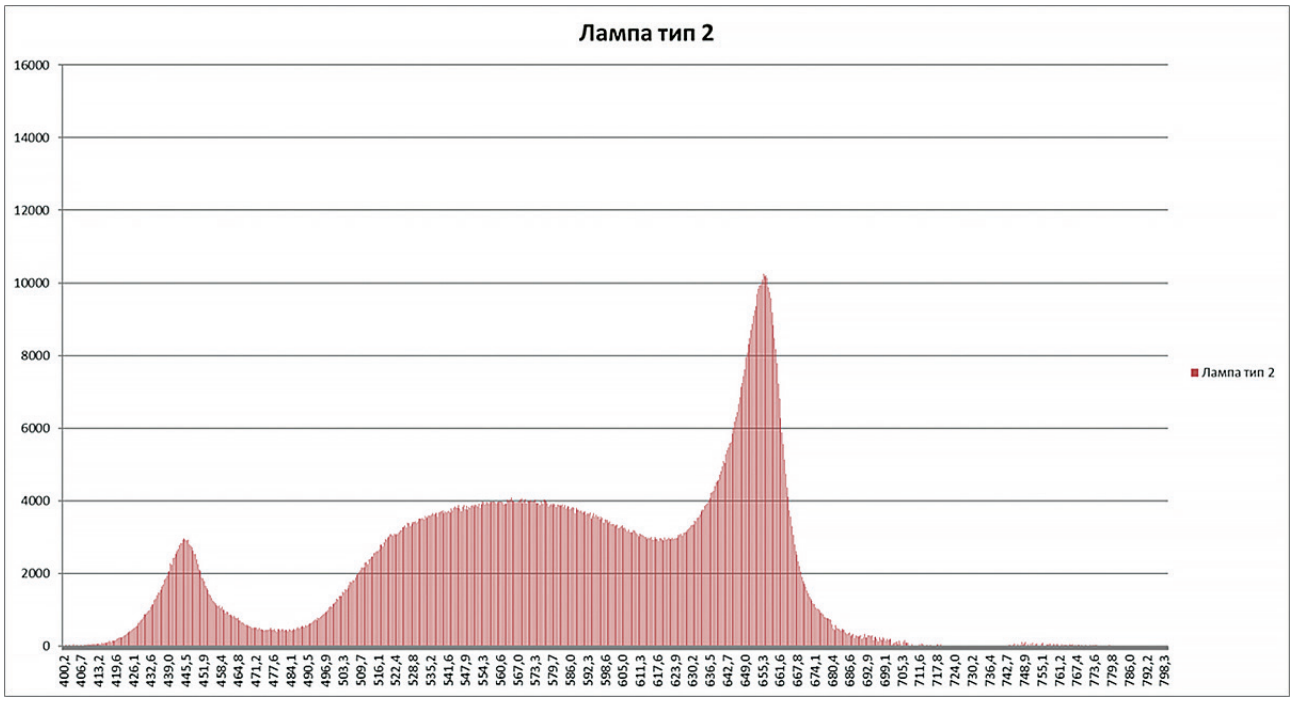



*Рис. 3.* Спектр светодиодных ламп № 2
LED Lamp Spectrum No. 2

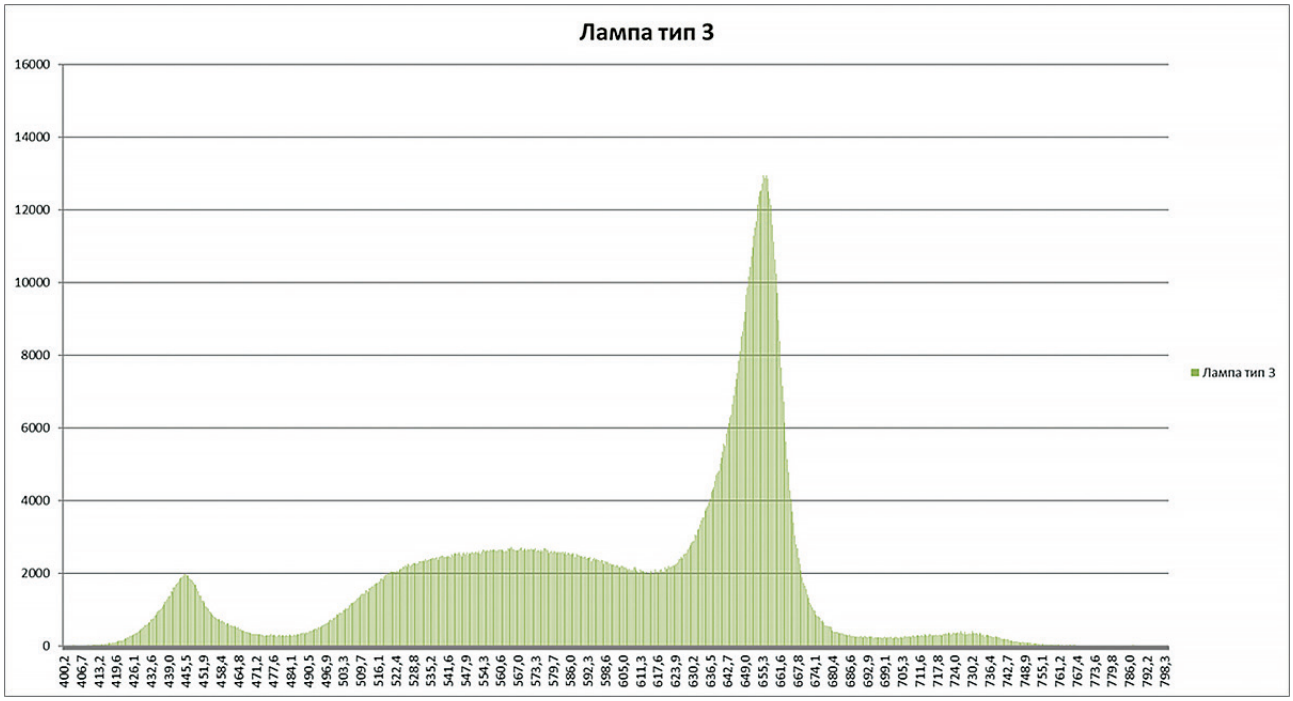



*Рис. 4.* Спектр светодиодных ламп № 3
LED Lamp Spectrum No. 3

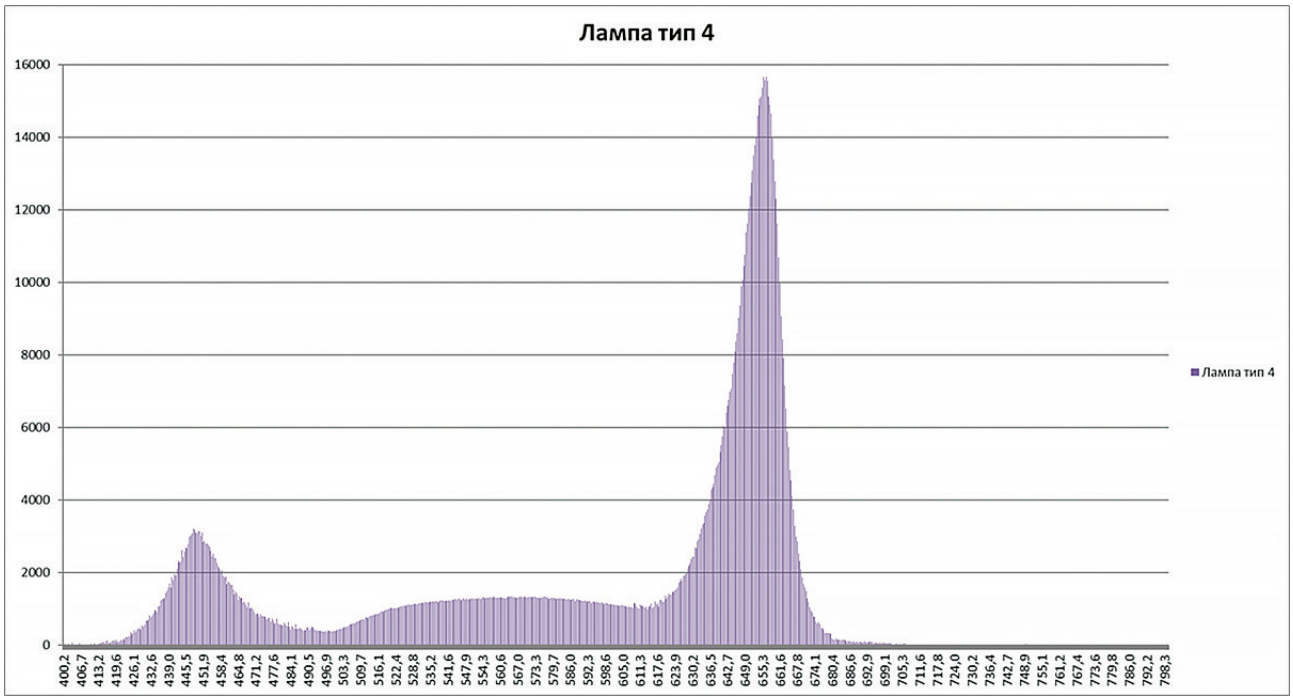



*Рис. 5.* Спектр светодиодных ламп № 4
LED Lamp Spectrum No. 4

В течение опыта на 5, 15 и 30 сут проводили измерение показателей, характеризующих развитие растений картофеля на аэрогидропонных установках: длина растения, длина корневой системы, количество листьев.

Высоту измеряли мерной линейкой от основания растения до верхней точки роста. Количество листьев определяли путем пересчета их на одном растении. Массу надземной части и корневой системы определяли путем взвешивания на лабораторных весах.

Продуктивность растений картофеля определяли путем определения среднего количества мини-клубней, полученных с одного растения на основном модуле аэрогидропонной установки с последующей сортировкой на фракции. Морфометрический анализ проводили путем взвешивания чистых и подсушенных мини-клубней картофеля на лабораторных весах в весовой комнате с последующим занесением полученных данных в лабораторный журнал. В соответствии с полученными результатами мини-клубни разделяли на фракции: самая мелкая (0–1,5 г), мелкая (1,5–4 г), средняя (4–10 г), крупная (>10 г).

Для статистической обработки результатов использовался пакет программ для Windows Statistica 8.0. Для сравнения численных значений показателей использовался непараметрический критерий Манна–Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приживаемость растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках во всех вариантах опыта составила 100 %.

Влияние различных источников освещения на высоту растений картофеля сорта Чароит показано в табл. 2.

*Таблица 2*

**Высота растений, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**
**Height of plants grown in aerohydroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта | | |
|---|---|---|---|
| | 5 сут | 15 сут | 30 сут |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 17,2±0,46 | 20,2±0,42 | 27,3±0,50 |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 2 | 18,5±0,43 | 21,2±0,42 | 32,0±0,67 |
| 3 | 16,2±0,62 | 18,5±0,61 | 22,6±0,53 |
| 4 | 16,5±0,37 | 19,7±0,41 | 26,8±0,49 |

Данные таблицы свидетельствуют о том, что высота растений картофеля сорта Чароит спустя 5 сут выращивания в варианте 2 статистически значимо больше, чем в варианте 3 ($p$ = 0,0065) и в варианте 4 ($p$ = 0,0017). На 15 сут выращивания сохраняется та же закономерность ($p$ = 0,0009 и $p$ = 0,044 соответственно), а также данный показатель в варианте 1 статистически значимо выше, чем в варианте освещения 3 ($p$ = 0,0177). После 30 сут выращивания высота растений в варианте 2 статистически значимо больше, чем в вариантах 1 ($p$ = 0,0001), 3 ($p$ = 0,0001) и 4 ($p$ = 0,0001), а в варианте 3 статистически значимо меньше по сравнению с 1 ($p$ = 0,0001) и 4 ($p$ = 0,0001) вариантами.

Влияние различных вариантов освещения на количество листьев растений картофеля сорта Чароит отражено в табл. 3.

*Таблица 3*

**Количество листьев на растениях, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**
**Leaf count on plants grown in aerohydroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта | | |
|---|---|---|---|
| | 5 сут | 15 сут | 30 сут |
| 1 | 6,2±0,23 | 8,2±0,41 | 14,3±0,35 |
| 2 | 6,6±0,23 | 7,6±0,34 | 14,3±0,41 |
| 3 | 6,3±0,26 | 7,8±0,47 | 14,0±0,36 |
| 4 | 6,1±0,19 | 7,2±0,33 | 14,6±0,35 |

При анализе данных, представленных в табл. 3, выяснено, что на 15 сут развития максимальное количество листьев образовывалось у растений картофеля сорта Чароит, выращиваемых с использованием источников освещения № 1. Данный вариант статистически значимо ($p$ = 0,022) отличался от варианта 4. Но на более поздних сроках развития данный эффект уже не наблюдался и никаких отличий по анализируемому показателю выявлено не было.

Информация о развитии корневой системы растений картофеля, выращиваемых с использованием различных источников освещения, представлена в табл. 4.

*Таблица 4*

**Длина корневой системы на растениях, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**
**Root system length of plants grown in aerohydroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта | | |
|---|---|---|---|
| | 5 сут | 15 сут | 30 сут |
| 1 | 6,9±0,44 | 22,0±0,58 | 48,9±0,34 |
| 2 | 7,6±0,32 | 23,5±0,45 | 48,7±0,34 |
| 3 | 5,7±0,48 | 18,6±0,94 | 46,9±0,92 |
| 4 | 6,1±0,27 | 21,2±0,79 | 46,1±0,72 |

Показано, что длина корневой системы растений картофеля сорта Чароит спустя 5 сут в варианте света 2 была статистически значимо больше по сравнению с вариантами 3 ($p$ = 0,0013) и 4 ($p$ = 0,0004). На 15 сут выращивания растений картофеля источник освещения № 2 сохранил

свои лидерские позиции: данный показатель оказался статистически значимо выше по сравнению с вариантами 3 ($p$ = 0,0002) и 4 ($p$ = 0,0059). Кроме того, длина корневой системы растений в варианте 3 была статистически значимо меньше в сравнении с 1-м вариантом ($p$ = 0,0076). Спустя 30 сут выращивания минимальная длина корневой системы растений картофеля сорта Чароит наблюдалась в варианте 4, она была статистически значимо меньше по сравнению с вариантами 1 ($p$ = 0,0014) и 2 ($p$ = 0,0024).

Влияние изучаемых источников освещения на массу надземной части растений картофеля и на их корневую систему показано в табл. 5.

*Таблица 5*

**Средняя масса надземной части и корневой системы растений, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**
**Average weight of the above-ground part and root system of plants grown in aerohydroponic installations using different light sources**

| Тип освещения | Средняя масса корневой системы, г | Средняя масса надземной части, г |
|---|---|---|
| 1 | 68,2±5,43 | 179,4±15,63 |
| 2 | 86,1±6,72 | 144,9±11,59 |
| 3 | 55,4±1,01 | 134,6±14,66 |
| 4 | 70,1±5,15 | 139,2±19,07 |

Проведенный статистический анализ выявил, что существуют статистически значимые отличия по показателю «средняя масса корневой системы» растений картофеля сорта Чароит варианта 3 с остальными вариантами: в варианте 3 этот показатель ниже ($p$ = 0,002 для варианта 1, $p$ = 0,0001 для варианта 2 и 4 $p$ = 0,004 для варианта 4).

По показателю средней массы надземной части статистически значимых отличий не выявлено.

Характеристика полученного урожая мини-клубней приведена в табл. 6.

*Таблица 6*

**Характеристики мини-клубней, полученных при выращивании на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**
**Characteristics of mini-tubers obtained when grown in aerohydroponic installations using various light sources**

| Тип освещения | Среднее кол-во мини-клубней с одного растения, шт. | Средняя масса одного мини-клубня, г | Максимальная масса одного мини-клубня, г | Минимальная масса одного мини-клубня, г |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 31,5±0,53 | 9,6±0,39 | 104,60 | 0,15 |
| 2 | 33,9±0,69 | 9,4±0,35 | 70,66 | 0,04 |
| 3 | 28,2±0,39 | 9,2±0,34 | 68,22 | 0,13 |
| 4 | 31,0±0,48 | 8,5±0,34 | 72,57 | 0,16 |

Как видно из представленных данных, максимальное количество мини-клубней с одного растения картофеля сорта Чароит получено во втором варианте, минимальное – в 3-м варианте. При этом в 3-м варианте данный показатель статистически значимо ниже, чем в варианте 1 ($p$ = 0,009), варианте 2 ($p$ = 0,0001) и варианте 4 ($p$ = 0,0005).

По средней массе одного мини-клубня выявлены статистически значимые различия лишь между вариантами 3 и 1 ($p$ = 0,03, в варианте 1 масса выше), а также между вариантами 3 и 4 ($p$ = 0,0009, в варианте 3 масса выше).

Анализ данных, представленных в табл. 7, показывает, что во всех изучаемых случаях доля фракций, пригодных для дальнейшего семеноводства (средняя и крупная фракции), составляет более 50 %.

*Таблица 7*

**Фракционный состав мини-клубней, полученных при выращивании на аэрогидропонных установках с использованием различных источников светодиодного освещения**
**Fractional composition of mini-tubers obtained during cultivation in aerohydroponic installations using various LED lighting sources**

| Тип освещения | Чароит | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Самая мелкая (0–1,5 г), % | Мелкая (1,5–4 г), % | Средняя (4–10 г), % | Крупная (> 10 г), % |
| 1 | 27,0 | 18,4 | 16,2 | 38,4 |
| 2 | 20,8 | 17,0 | 28,5 | 33,7 |
| 3 | 15,9 | 17,9 | 29,5 | 36,6 |
| 4 | 26,9 | 16,9 | 22,4 | 33,8 |

С учетом таких показателей, как среднее количество мини-клубней с одного растения, средняя масса одного мини-клубня и фракционный состав мини-клубней выявлено, что оптимальными из изученных источников освещения для сорта Чароит является источник № 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сегодня энергосбережение в закрытых системах выращивания безвирусного картофеля становится одним из приоритетов политики производства. Поэтому в области искусственного освещения и облучения картофеля необходимо уходить от энергонасыщенных, используемых в настоящее время облучательных установок. Сейчас в области светотехники наиболее экономичными источниками света являются лампы, основанные на светодиодных технологиях.

Полноспектральный светодиод излучает около 17 % света синего спектра и около 65 % света красного спектра, 10 % желто-зеленого. Один из недостатков подобного типа ламп – это высокая стоимость. Но она компенсируется их большей эффективностью, возможностью управления мощностью излучения, равномерным распределением светового потока на всю длину «грядки» (рис. 6).

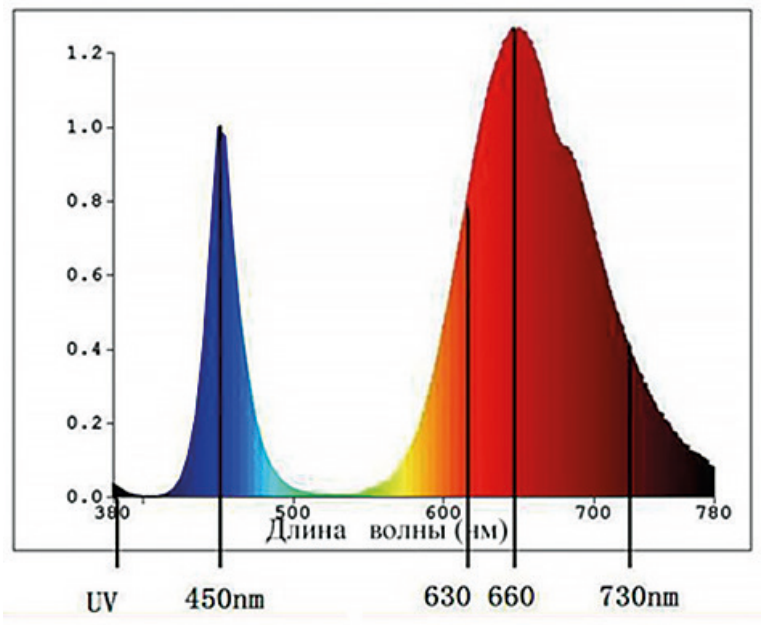



*Рис. 6.* Спектр полноспектрального светодиода
Spectrum of a full spectrum LED

Распределение светового потока является равномерным по всей длине, но мощность потока падает с квадратом расстояния и, чтобы при минимальных затратах энергии иметь необходимые 200–400 umol/m2/s, установка должна быть обеспечена системой регулирования высоты ламп

освещения, что позволит поддерживать необходимый уровень светового потока на всех этапах роста растений без необходимости увеличивать мощность освещения на ранних этапах роста растений. Датчик светового потока при этом позволит получать постоянную обсервацию уровня световой радиации.

Ряд работ посвящен изучению эффектов освещения при выращивании картофеля в условиях гидропоники. Современные исследования подтверждают эффективность целенаправленной оптимизации спектрального состава и применения технологических решений для увеличения урожайности и улучшения качественных характеристик продукции картофелеводства [13–17].

Использование аэрогидропонных установок, в частности, серии «Фагро», позволяет получать высококачественные мини-клубни картофеля. Показана перспективность ее использования для адаптации микрорастений картофеля и для получения мини-клубней сортов Розара, Солнечный, Дочка [18, 19]. Исследования показали, что количественный выход мини-клубней картофеля на одно растение составил у сорта Розара 46,9 шт., Солнечный – 56,7 шт.

Рядом авторов рассматриваются особенности автоматического контроля микроклимата, динамика роста растений и количественная оценка урожая. Приводится сравнительный анализ с традиционными методами выращивания картофеля и отмечаются экономические выгоды нового подхода [20–27].

Нами изучено влияние различных источников освещения на следующие морфометрические параметры развития растений картофеля сорта Чароит при выращивании на аэрогидропонных установках: высота растений, количество листьев, длина корневой системы, средняя масса надземной части и корневой системы. Установлено влияние различных источников освещения на среднее количество мини-клубней с одного растения, среднюю массу одного мини-клубня, максимальную и минимальную массу мини-клубней и фракционный состав мини-клубней при выращивании растений картофеля сорта Чароит аэрогидропонным способом. При культивировании растений картофеля аэрогидропонным способом рекомендовано использовать тип освещения для сорта Чароит. Результаты данной работы позволят оптимизировать семеноводческий процесс картофеля.

## ВЫВОДЫ

1. Наблюдалось статистически значимое увеличение высоты растений, выращиваемых с использованием диодных источников освещения типа 2.

2. Анализ продуктивности показал, что максимальное количество мини-клубней с одного растения было получено на 2-м типе освещения.

3. В урожае мини-клубней доля фракций, пригодных для дальнейшего семеноводства, составляет более 50 % при использовании на аэрогидропонных установках всех изучаемых типов освещения.

4. Для получения кондиционных мини-клубней рекомендуется использовать диодное освещение типа 2.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Галеев Р.Р.* Потенциал продуктивности сортов картофеля в Западно-Сибирском регионе // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 45–51.
2. *Галеев Р.Р., Шульга М.С.* Эффективность элементов адаптивной технологии ускоренного семеноводства безвирусного картофеля в северной лесостепи Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2014. – № 4 (33). – С. 28–33.
3. *Аникина И.Н., Хутинаев О.С., Султумбаева А.К.* Аэропоника как фактор повышения коэффициента размножения меристемного картофеля // European science. – 2017. – № 6 (28). – С. 40–44.
4. *Анализ* сортовых различий растений-регенерантов картофеля *in vitro* при использовании светодиодных светильников / Т.В. Никонович, Т.В. Кардис, А.В. Кильчевский [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 73–78.
5. *Действие* светодиодного облучения разного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro* / Ю.Ц. Мартиросян, Т.А. Диловарова, В.В. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 680–687.
6. *Оптимизация* освещения микрорастений картофеля *in vitro* с использованием светодиодных источников / А.Л. Бакунов, Н.Н. Дмитриева, А.В. Милёхин, С.Л. Рубцов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 85–91.

7. *Изучение* влияния различных видов освещения на рост и развитие оздоровленных растений картофеля сорта Антонина / Е.В. Хаксар, А.И. Манукян, М.С. Романова [и др.] // Молодежный Научный вестник. – 2017. – № 11 (24). – С. 83–89.
8. *Шанина Е.П., Стафеева М.А., Ковалёв А.Н.* Сорт картофеля Люкс: перспективы получения качественного оригинального материала с высоким количественным выходом мини-клубней в аэрогидропонном модуле // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 3 (23). – С. 100–105.
9. *Интенсивность* морфогенеза регенерантов картофеля при использовании освещения различного спектрального состава / А.Л. Бакунов, С.Л. Рубцов, А.В. Милехин, Н.Н. Дмитриева // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 7 (208). – С. 3–12.
10. *Романова М.С., Хаксар Е.В., Манукян А.И.* Разработка способов выращивания оздоровленных микрорастений картофеля сорта Солнечный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – Т. 55, № 2 (315). – С. 25–34.
11. *Булгаков В.П.* Исследование воздействия мультиспектрального динамического освещения на отклик световой сигнальной системы растений // Отчет о НИР № 20-16-00016. Российский научный фонд. – 2021.
12. *Козлов А.В., Нетёсов С.В., Ренев Н.О.* Анализ показателей влияния искусственного освещения на рост и развитие меристемных растений *Solanum tuberosum* L. сорта Розара // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (88). – С. 126–129.
13. *Иванов Н.А., Михайлов М.В., Захаров Г.Н.* Особенности дозированного освещения при возделывании картофеля в защищенном грунте // Картофель и овощи. – 2021. – № 3. – С. 17–21.
14. *Тимофеева Т.И., Ступин Д.С.* Применение комбинированных систем освещения в овощеводстве защищённого грунта // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2022. – Т. 45, Вып. 3. – С. 134–142.
15. *Казаков А.М., Скворцов Ф.П.* Анализ последствий чрезмерного воздействия синих спектральных компонентов на рост картофеля // Вестник сельскохозяйственной науки Сибири. – 2023. – № 1. – С. 34–40.
16. *Николаев Б.Д., Петров О.К.* Биостимулирующее действие ультрафиолетового излучения на иммунитет растений картофеля // Агрохимический вестник. – 2024. – № 2. – С. 48–53.
17. *Семенов В.Г., Козлов Я.Е.* Оптимизация режимов фотопериодического освещения для повышения продуктивности картофеля в автоматизированных теплицах // Инновации в сельском хозяйстве. – 2025. – № 1. – С. 67–74.
18. *Al Shrouf Ali*. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming // Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci. – 2017. – P. 247–255.
19. *Влияние* различных водорастворимых удобрений на продуктивность растений картофеля сорта Дочка в условиях аэропоники / О.О. Новиков, М.С. Романова, Е.В. Хаксар [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2023. – № 4 (42). – С. 174–181.
20. *Получение* качественного семенного материала картофеля на аэрогидропонных установках / Е.В. Хаксар, М.С. Романова, О.О. Новиков [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49, № 6. – С. 16–22.
21. *Malko A.M.* Technological process for the production of original, elite and reproductive seed potatoes // Practical guide. – Moscow, 2017. – P. 64.
22. *Nuriddinov Ya.A., Tobolova G.V.* Microclonal propagation of potatoes // Actual issues of science and economy: 118 new challenges and solutions. Collection of materials of the LII International student scientific-practical conference. – 2018. – P. 150–153.
23. *Барсукова Е.Н., Чибизова А.С.* Влияние спектра светодиодного освещения на процесс микроклонального размножения безвирусных растений картофеля разных сортов // Аграрный вестник Приморья. – 2019. – № 1 (13). – С. 18–22.
24. *Campos H., Ortiz O.* The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. Cham: Springer Nature. – 2020. – P. 518.
25. *Electrical* conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring) / A.H. Calori, T.L. Factor, J.C. Feltran [et al.] // Bragantia. – 2017. – № 76 (1). – P. 23–32.
26. *Интенсивность* морфогенеза регенерантов картофеля при использовании освещения различного спектрального состава / А.Л. Бакунов, С.Л. Рубцов, А.В. Милехин, Н.Н. Дмитриева // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 7 (208). – С. 3–12.
27. *Comparison* of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers / E. Ritter, B. Angulo, P. Riga [et al.] // Potato Research. – 2001. – № 44 (2). – P. 127–135.

## REFERENCES

1. Galeev R.R., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki*, 2015, No. 5, pp. 45–51. (In Russ.)
2. Galeev R.R., Shul'ga M.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2014, No. 4 (33), pp. 28–33. (In Russ.)

3. Anikina I.N., Khutinayev O.S., Sultanbaeva A.K., *European science*, 2017, No. 6 (28), pp. 40–44. (In Russ.)
4. Nikonovich T.V., Kardis T.V., Kilchevsky A.V., Filipenia V.L., Chizhik O.V., Trofimov Yu.V., Tsvirko V.I., Kerzhojtsik E.V., *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018, No. 1, pp. 73–78. (In Russ.)
5. Martirosyan Y.Ts., Dilovarova T.A., Martirosyan V.V., Kreslavskiy V.D., Kosobryukhov A.A., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2016, T. 51, No. 5, pp. 680–687. (In Russ.)
6. Bakunov A.L., Dmitrieva N.N., Milekhin A.V., Rubtsov S.L., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6 (92), pp. 85–91. (In Russ.)
7. Khaksar E.V., Manukyan A.I., Romanova M.S., Leonova N.I., Semenov A.G., Martynov M.S., *Molodezhny nauchny vestnik*, 2017, No. 11 (24), pp. 83–89. (In Russ.)
8. Shanina E.P., Stafeeva M.A., Kovalëv A.N., *Permsky agrarnyy vestnik*, 2018, No. 3 (23), pp. 100–105. (In Russ.)
9. Bakunov A.L., Rubtsov S.L., Milekhin A.V., Dmitrieva N.N., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 7 (208), pp. 3–12. (In Russ.)
10. Romanova M.S., Khaksar E.V., Manukyan A.I., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki*, 2025, T. 55, No. 2 (315), pp. 25–34. (In Russ.)
11. Bulgakov V.P., *Otchet o NIR № 20-16-00016. Rossiyski fond nauchnykh issledovaniy* (Research Report No. 20-16-00016. Russian Science Foundation), 2021. (In Russ.)
12. Kozlov A.V., Netesov S.V., Renev N.O., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 2 (88), pp. 126–129. (In Russ.)
13. Ivanov N.A., Mikhaylov M.V., Zakharov G.N., *Kartofel' i ovoshchi*, 2021, No. 3, pp. 17–21. (In Russ.)
14. Timofeyeva T.I., Stupin D.S., *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2022, Tom 45, Vyp. 3, pp. 134–142. (In Russ.)
15. Kazakov A.M., Skvorcov F.P., *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Sibiri*, 2023, No. 1, pp. 34–40. (In Russ.)
16. Nikolaev B.D., Petrov O.K., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2024, No. 2, pp. 48–53. (In Russ.)
17. Semenov V.G., Kozlov Ye.E., *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2025, No. 1, pp. 67–74. (In Russ.)
18. Al-Shrouf Ali., Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming, *American Scientific Research Journal of Engineering*, Technology & Sciences, 2017, pp. 247–255.
19. Novikov O.O., Romanova M.S., Khaksar E.V., Kosinova E.I., Chudinova Yu.V., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2023, No. 4 (42), pp. 174–181. (In Russ.)
20. Khaksar E.V., Romanova M.S., Novikov O.O., Leonova N.I., Romashev G.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki*, 2019, T. 49, No. 6, pp. 16–22. (In Russ.)
21. Malko A.M., *Tekhnologicheskiy protsess dlya proizvodstva original'nogo, elitnogo i reproduktsionnogo semennogo kartofelya* (Technological process for the production of original, elite and reproductive seed potatoes), Prakticheskoe rukovodstvo, Moskva, 2017, 64 p.
22. Nuriddinov Ya.A., Tobolova G.V., Mikroklonal'noye razmnozheniye kartofelya, Aktual'nyye problemy nauki i ekonomiki: novye vyzovy i resheniya, *Collection of materials of the LII Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, 2018, pp. 150–153.
23. Barsukova E.N., Chibizova A.S., *Agrarnyy vestnik Primorya*, 2019, No. 1 (13), pp. 18–22. (In Russ.)
24. Campos H., Ortiz O., The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humanity, *Cham: Springer Nature*, 2020, 518 p.
25. Calori A.H., Factor T.L., Feltran J.C., Watanabe E.Y., de Moraes C.C., Purquerio L.F., Electrical Conductivity of the Nutrient Solution and Plant Density in Aeroponic Production of Seed Potato Under Tropical Conditions (Winter/Spring), *Bragantia*, 2017, No. 76 (1), pp. 23–32.
26. Bakunov A.L., Rubtsov S.L., Milekhin A.V., Dmitrieva N.N., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 7 (208), pp. 3–12. (In Russ.)
27. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San José Ritter M., Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers, *Potato research*, 2001, No. 44 (2), pp. 127–135.

**Информация об авторах:**
*М.С. Романова,* кандидат биологических наук, зам. директора по НИР
*Е.В. Хаксар,* научный сотрудник
*Ю.В. Чудинова,* доктор биологических наук
*О.Н. Колбина,* аспирант

**Contribution of the authors:**
*M.S. Romanova,* PhD in Biology, Deputy Director for Research
*E.V. Khaksar,* Researcher
*Yu.V. Chudinova,* Doctor of Biological Sciences
*O.N. Kolbina,* Postgraduate Student

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-180-189
УДК 636.085.532

# МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ НЕКОТОРЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

**О.В. Серебрякова, М.Е. Белышкина**
*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ»), Москва, Россия*
**E-mail:** oksana.sazonova.94@mail.ru

**Для цитирования:** *Серебрякова О.В., Белышкина М.Е.* Мониторинг содержания минеральных компонентов в агроэкосистемах некоторых регионов России // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 180–189. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-180-189.

**Ключевые слова:** агроэкосистема, бобовое сено, злаковое сено, сено естественных угодий, минеральный состав, почва.

**Реферат**. *Проведение мониторинга исследования минерального состава кормовых растений в зависимости от географического расположения является важной научно-практической задачей. Целью исследования стало проведение мониторингового анализа уровня биоаккумуляции некоторых минеральных элементов кормовыми растениями из почв разного географического происхождения. Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Для осуществления исследования были заготовлены образцы сена из бобовых и злаковых трав, а также образцы сена естественных угодий, собранные в разных районах Центрального федерального округа, в Алтайском и Краснодарском крае. Определяли содержание следующих минеральных компонентов: меди (Cu), магния (Mg), марганца (Mn), калия (K). Заготавливали по пять проб каждого образца сена из бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий. На основании полученных результатов было установлено, что уровень содержания минеральных компонентов в разных видах сена был соответствующим географическому происхождению образца. Сравнительный анализ миграции минеральных веществ – меди, калия, магния и марганца в системе «почва – растение» показал, что содержание минеральных компонентов в составе растений не имеет прямой зависимости от уровня содержания соответствующих минералов в составе почв, а степень усвояемости и накопления исследуемых минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.*

# MONITORING OF THE CONTENT OF MINERAL COMPONENTS IN AGROECOSYSTEMS OF SOME REGIONS OF RUSSIA

**O.V. Serebryakova, M.E. Belyshkina**
*Federal Scientific Agroengineering Center VIM (FGBNU «FNATS VIM»), Moscow, Russia*
**E-mail:** oksana.sazonova.94@mail.ru

**Keywords***:* agroecosystem, bean hay, cereal hay, hay of natural lands, mineral composition, soil.

**Abstract:** *Monitoring the study of the mineral composition of forage plants depending on their geographic location is an important scientific and practical task. The aim of the study was to conduct a monitoring analysis of the level of bioaccumulation of some mineral elements by forage plants from soils of different geographic origin. The studies were conducted at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM. To carry out the study, samples of hay from legumes and cereals, as well as samples of hay from natural lands, collected in different areas of the Central Federal District, in the Altai and Krasnodar Territories, were prepared. The content of the following mineral components was determined: copper (Cu), magnesium (Mg), manganese (Mn), potassium (K). Five samples of each sample of hay from legumes and cereals, as well as hay from natural lands, were prepared. Based on the results obtained, it was found that the level of mineral components in different types of hay corresponded to the geographic origin of the sample. A comparative analysis of the migration of mineral substances – copper, potassium, magnesium and manganese in the "soil-plant" system showed that the content of mineral components in plants does not directly depend on the level of the corresponding minerals in soils, and the degree of digestibility and accumulation of the studied mineral substances is determined by the main parameters of the environment and biochemical indicators of soils.*

Известно, что содержание микронутриентов в составе растительного сырья имеет значительные различия, что напрямую влияет на минеральную составляющую, качество и питательность кормов для животных в целом. К основным факторам, влияющим на минеральный состав, можно отнести климатические условия, количество осадков, стадию вегетации, вид растений и многие другие [2, 6, 9].

В соответствии с мировым опытом проведения мониторинговых исследований установлено, что полноценная устойчивая продуктивность трав сеяных и естественных угодий может быть обеспечена путем регулярного комплексного учета экологических, биохимических и агрохимических факторов, которые оказывают воздействие на рост и развитие растений, а также способствуют формированию урожая и определяют его качество. Мониторинг состояния почв и растений позволяет своевременно выявить и не допустить такие проблемы, как: стойкое закисление, первичное природное или промышленное засоление, загрязнение вредными веществами, естественно-генетическое и искусственное переуплотнение, эрозия, истощение запасов минеральных соединений и органического вещества, которые доступны для растений [1, 4, 12].

При направленном мониторинге можно определить потребности агробиоценозов и растений естественных угодий в определенных питательных элементах, минеральных компонентах, воде, тепле, воздухе. Данный вид исследований позволяет создать оптимальные для растений реакции почвенной среды, учитывая существующие фитосанитарные и эколого-токсикологические условия [10, 15, 16].

В условиях современной биохимической, экологической и агрохимической наук большое внимание должно уделяться исследованиям миграции микроэлементного потока в агроэкосистемах, в цепочке «почва – растение – сельскохозяйственные продукты». Оптимизация агрохимического обслуживания на фоне современных инновационных технологий в растениеводстве, а также оптимизация процессов удобрения сельскохозяйственных растений выступают в качестве дополнительных факторов повышения урожайности и, соответственно, качества продукции [5, 11].

Однако следует отметить, что изучение региональной специфики накопления и миграции микроэлементного потока в цепи «почва – растение» способствует своевременным выявлениям дефицитов по отдельным микроэлементам в различных регионах страны. Проведение оценки обеспеченности почв микроэлементами с учетом ассортимента возделываемых сельскохозяйственных культур – не менее значимая задача. Для этого важным условием является установление оптимальных диапазонов и концентраций, которые, в свою очередь, будут определять пороговые значения, при достижении которых нехватка или излишки микроэлементного состава могут снижать степень развития растительного покрова или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции [3, 7, 8, 14].

Целью исследования стало проведение мониторингового анализа уровня биоаккумуляции некоторых минеральных элементов кормовыми растениями из почв разного географического происхождения.

В соответствии с обозначенной целью были поставлены следующие задачи:

1) заготовить образцы почв, сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий разного географического происхождения;

2) осуществить исследование заготовленных проб сена на уровень содержания минеральных компонентов;

3) осуществить исследование заготовленных образцов почв на содержание исследуемых минеральных элементов;

4) провести сравнительный анализ содержания минеральных компонентов в образцах почв и растений в зависимости от географического происхождения;

5) провести биометрическую обработку полученных данных.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Заготовку образцов почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий) осуществляли на территории Рязанской, Владимирской и Самарской областей. В каждом регионе было отобрано по пять проб бобового и злакового сена, а также сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла 2,5–3,0 кг. Пробы почв (пахотный слой) отбирали в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Заготовку почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий), собранного в Алтайском крае,

осуществляли в нескольких районах: Бийском, Благовещенском и Егорьевском. В каждом районе было отобрано по пять проб бобового, злакового и сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла от 2,5 до 3,0 кг. Пробы почв (пахотный слой) отбирали в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Заготовку почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий), собранного в Краснодарском крае, осуществляли в нескольких районах: Анапском, Белореченском и в пригороде Краснодара. В каждом районе было отобрано по пять проб бобового, злакового и сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла до 3,0 кг. Пробы почв заготавливали в каждом районе, в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Перед проведением запланированного исследования заготовленные образцы были проанализированы на соответствие требованиям ГОСТ Р 55452–2013 «Сено и сенаж. Технические условия» по основным органолептическим и физико-химическим показателям качества.

Исследование заготовленных проб почв осуществляли согласно методу «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии м-мви-80-2008».

Заготовленные образцы сена исследовали на содержание основных минеральных веществ методом атомно-абсорбционной спектрометрии согласно методу, указанному в ГОСТ 32343–2013 «Корма. Комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектрометрии».

Сущность используемого метода заключается в разведении проб растений в соляной кислоте с последующим озолением в муфельной печи при температурном режиме до 550±15 °С. Затем удаляли присутствующие соединения кремния методом осаждения и фильтрации с последующим выполнением атомизации полученного рабочего раствора в специальном пламени ацетилен-воздух.

Подготовку проб к исследованию осуществляли согласно ГОСТ ISO 6498–2014 «Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний». В связи с разновидовым составом проб сена была необходима их гомогенизация. Для получения достоверных результатов пробоподготовку начинали с ее предварительного измельчения и перемешивания. Для соблюдения необходимых мер предосторожности по решению спорных вопросов контрольную пробу грубого измельчения сохранили на длительный срок при комнатной температуре.

Пробы заготовленного сена были предварительно высушены перед грубым измельчением, затем, перед проведением непосредственного анализа, осуществляли более мелкое измельчение, достигая размеров частиц менее 0,5 см.

Было определено содержание следующих минеральных компонентов: медь (Cu), магний (Mg), марганец (Mn), калий (K). Для более наглядной формы предоставления результатов степень усвояемости минеральных компонентов определяли путем расчета коэффициента использования растениями элемента питания из запасов почвы (КИП).

$КИП = B/C \times 100$ %, где $B$ – количество элемента, вынесенное с урожаем на неудобренной почве, мг/кг; $C$ – содержание подвижной формы элемента питания в пахотном слое, г/кг.

Образцы сена из сеяных бобовых трав разного географического происхождения содержали от 60 до 76 % растений семейства бобовые, таких как люцерна посевная, клевер, горох посевной и др. Пробы сена из сеяных бобовых трав были скошены в фазу бутонизации и цветения.

Образцы сена из сеяных злаковых трав разного географического происхождения содержали от 65 до 70 % растений семейства злаковые, таких как: тимофеевка луговая и др. Пробы сена из сеяных злаковых трав были скошены в фазу цветения.

Образцы сена естественных угодий разного географического происхождения содержали в себе растения заливных угодий, из них семейства бобовых – от 20 до 27 %, семейства злаковых – от 29 до 33 %, сложноцветных – от 10 до 13 % и амарантовых – от 12 до 15 %, а также растения других семейств. Пробы сена естественных угодий были скошены в фазу бутонизации и цветения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании заготовленных образцов сена из сеяных бобовых, злаковых трав и сена естественных угодий было выявлено, что все образцы соответствовали требованиям стандарта ГОСТ Р 55452–2013 «Сено и сенаж. Технические условия» по основным физико-химическим и органолептическим свойствам.

Результаты исследования сена из сеяных бобовых трав разного географического происхождения по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена из сеяных бобовых трав, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае, M ± m**
**Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from sown legumes collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai, M ± m**

| Минеральный элемент | Сено из сеяных бобовых трав разного географического происхождения | | |
|---|---|---|---|
| | Алтайский край | ЦФО | Краснодарский край |
| Cu, мг/кг | 7,9±,87 | 5,12±1,02 | 5,6±0,56 |
| K, г/кг | 19,9±1,21 | 14,7±0,97 | 10,3±0,12 |
| Mg, г/кг | 0,32±0,07 | 1,76±0,04 | 4,8±0,58 |
| Mn, мг/кг | 53,7±1,87 | 72,3±2,31 | 49,9±1,32 |

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в бобовом сене, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что уровень минеральных компонентов в образцах сена разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена из сеяных бобовых трав Алтайского края составило в среднем 7,9 мг/кг, что также больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 35,2 % (5,1 мг/кг) и на 29,1 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Краснодарском крае (5,6 мг/кг).

Бобовое сено, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (K) – 19,9 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 25,9 % (14,7 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 48,2 % (10,3 г/кг). По содержанию компонента магния (Mg) сено из сеяных бобовых трав, собранное в Краснодарском крае, составило 4,8 г/кг и, напротив, превышало образцы из Алтайского края на 93,3 % (0,32 г/кг), а также превышало образцы сена из ЦФО на 63,4 % (1,76 г/кг).

В большей степени в минеральном составе бобового сена из ЦФО содержался марганец (Mn) – 72,3 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 25,7 % (53,7 мг/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 30,9 % (49,9 мг/кг) соответственно.

Таким образом, можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене из сеяных бобовых трав разного ботанического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений, входящих в составные части образцов сена.

Результаты исследования сена из сеяных злаковых трав разного географического происхождения по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена из сеяных злаковых трав, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае**
**Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from sown cereal grasses collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai**

| Минеральный элемент | Сено из сеяных злаковых трав разного географического происхождения | | |
|---|---|---|---|
| | Алтайский край | ЦФО | Краснодарский край |
| Cu, мг/кг | 8,1±0,83 | 5,1±0,76 | 4,9±1,01 |
| K, г/кг | 16,8±1,07 | 14,6±1,01 | 11,5±1,08 |
| Mg, г/кг | 1,2±0,05 | 1,75±0,06 | 3,1±0,23 |
| Mn, мг/кг | 68,7±1,69 | 71,8±1,04 | 50,3±1,76 |

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в злаковом сене, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что уровень минеральных компонентов в

образцах злакового сена разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена из сеяных злаковых трав Алтайского края составило в среднем 8,1 мг/кг, что также больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 37,3 % (5,1 мг/кг) и на 39,5 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Краснодарском крае (4,9 мг/кг).

Сено из сеяных злаковых трав, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (К) – 16,8 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 12,9 % (14,6 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 31,6 % (11,5 г/кг). По содержанию компонента магния (Mg) злаковое сено из Краснодарского края составило 3,1 г/кг и, напротив, превышало образцы из Алтайского края на 61,3 % (1,2 г/кг), а также превышало образцы сена из ЦФО на 43,6 % (1,8 г/кг).

В большей степени в минеральном составе злакового сена из ЦФО содержался марганец (Mn) – 71,8 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 4,4 % (68,7 мг/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 29,9 % (50,3 мг/кг) соответственно.

Таким образом, можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене из сеяных злаковых трав разного географического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений, входящих в состав образцов сена.

Результаты исследования сена естественных угодий разного географического происхождения по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 3.

*Таблица 3*

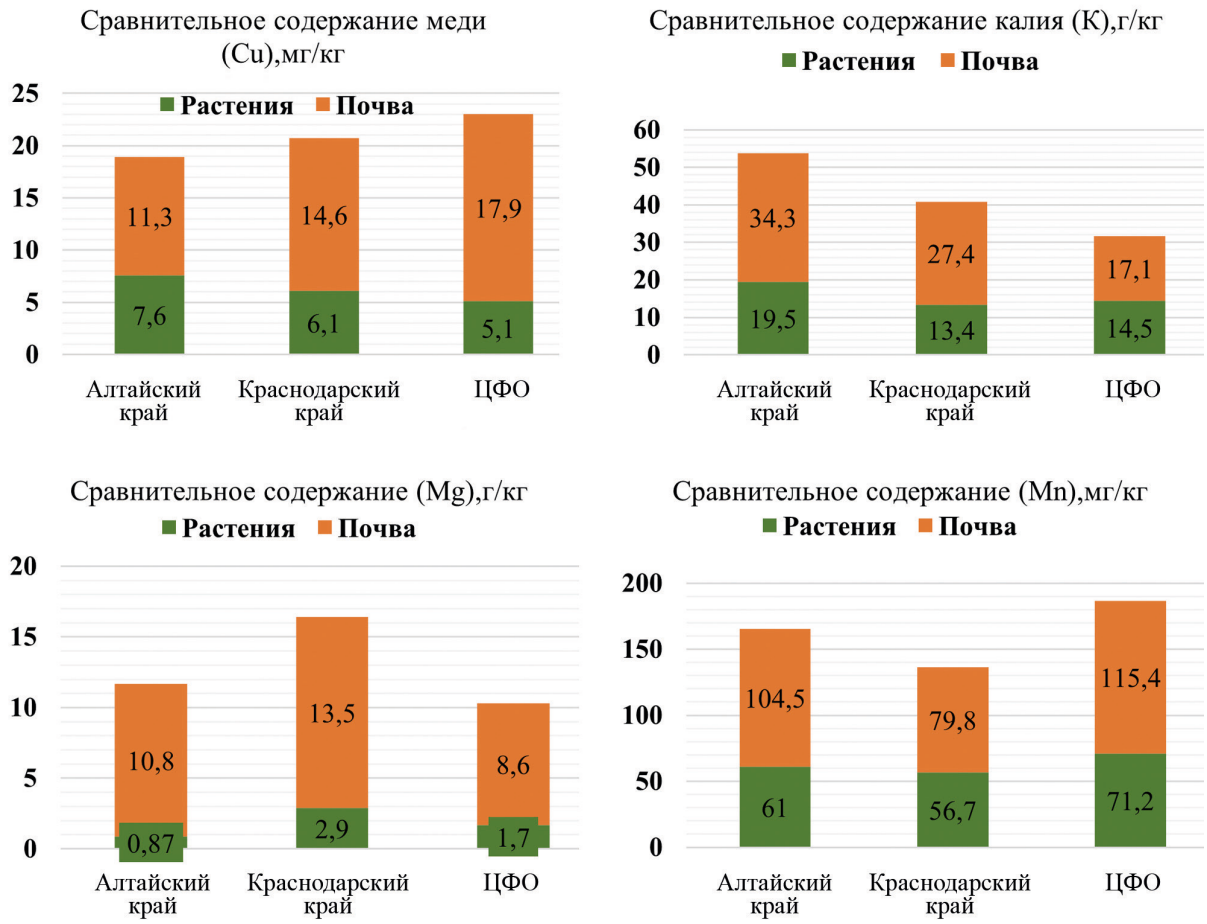
**Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена естественных угодий, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае**
**Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from natural lands collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai**

| Минеральный элемент | Сено естественных угодий разного географического происхождения | | |
|---|---|---|---|
| | Алтайский край | ЦФО | Краснодарский край |
| Cu, мг/кг | 6,9±0,76 | 4,8±0,34 | 7,8±0,98 |
| K, г/кг | 21,7±1,25 | 14,1±1,09 | 18,3±1,45 |
| Mg, г/кг | 1,1±0,09 | 1,6±0,03 | 1,0±0,02 |
| Mn, мг/кг | 60,7±2,54 | 69,4±2,34 | 69,9±2,65 |

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в сене естественных угодий, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что уровень минеральных компонентов в образцах сена естественных угодий разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена естественных угодий Краснодарского края составило в среднем 7,8 мг/кг, что больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 37,4 % (4,9 мг/кг) и на 11,5 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Алтайском крае (6,9 мг/кг).

Сено естественных угодий, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (К) – 21,7 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 34,9 % (14,2 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 15,7 % (18,3 г/кг). По содержанию компонента магния (Mg) сено естественных угодий из ЦФО составило 1,7 г/кг и, напротив, превышало образцы из Алтайского края на 34,5 % (1,1 г/кг), а также превышало образцы сена из Краснодарского края на 40,4 % (1,0 г/кг). В большей степени в минеральном составе сена из Краснодарского края содержался марганец (Mn) – 69,9 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 11,9 % (60,7 мг/кг) и образцы сена из ЦФО на 0,72 % (69,4 мг/кг) соответственно. Таким образом можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене естественных угодий разного ботанического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений.

Результаты сравнительного исследования содержания минеральных компонентов в почвах и в растениях разного географического происхождения представлены на рисунке.




Сравнительное содержание минеральных компонентов (Cu, K, Mg и Mn) в образцах почв и растений некоторых регионов России

Comparative content of mineral components (Cu, K, Mg and Mn) in soil and plant samples from some regions of Russia

В ходе анализа результатов исследования сравнительной динамики среднего содержания некоторых минеральных элементов в составе образцов растений и почв исследуемых регионов было установлено, что количество элементов в почвах и растениях в соответствующих регионах не всегда закономерно. Следует отметить, что содержание меди по всем исследуемым регионам неоднородно. Несмотря на то, что наибольшее содержание меди было установлено в почвах ЦФО – 17,9±3,41 мг/кг (lim *f(x)*: 11,3–24,4 мг/кг), содержание данного элемента в растениях ЦФО оказалось самым низким среди других исследуемых регионов и составило 5,1±0,10 мг/кг. Содержание меди в почвах Алтайского края было достаточно низким и составило 11,3±4,51 мг/кг (lim *f(x)*: 9,5–16,1 мг/кг), тогда как в составе растений образцов сена содержание данного элемента было самым высоким среди исследуемых регионов – 7,6±0,73 мг/кг.

При проведении сравнительного исследования содержания калия в растениях и почвах регионов было установлено, что содержание этого элемента в растениях изменяется в зависимости от уровня содержания данного элемента в исследуемых почвах. Так, наибольшее содержание калия было выявлено в почвах Алтайского края, что составило 34,3±6,71 г/кг (lim *f(x)*: 21,3–44,7 г/кг), что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – 19,5±1,43 г/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание калия было обнаружено в почвах ЦФО – 17,1±1,03 г/кг (lim *f(x)*: 15,0–21,1 г/кг), что также соответствует низкому уровню содержания калия в растениях данного региона – 14,5±2,49 г/кг.

В процессе сравнительного исследования содержания марганца в растениях и почвах регионов было установлено, что его содержание в растениях изменяется также в зависимости от уровня содержания данного элемента в исследуемых почвах. Наибольшее содержание марганца было выявлено в почвах ЦФО и составило 115,4±21,7 мг/кг (lim *f(x)*: 73,4–136,9 мг/кг),

что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – 71,2±0,9 мг/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание марганца было обнаружено в почвах Краснодарского края – 79,8±2,77 мг/кг (lim *f(x)*: 69,1–86,5 мг/кг), что также соответствует уровню содержания марганца в растениях данного региона – 56,7±1,89 мг/кг.

При исследовании содержания магния (Mg) в образцах растений и почв было установлено, что оно применяется в растениях также в зависимости от уровня содержания магния в исследуемых почвах. Наибольшее содержание магния было выявлено в почвах Краснодарского края. Это составило 13,5±2,97 г/кг (lim *f(x)*: 10,4–19,6 г/ кг), что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – 2,9±1,10 г/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание магния было обнаружено в почвах ЦФО – 8,6±1,04 г/кг (lim *f(x)*: 7,1–9,3 г/кг), что также соответствует уровню содержания магния в растениях данного региона – 1,7±0,03 г/кг.

Таким образом, можно предварительно заключить, что содержание минеральных элементов в составе вегетативных частей растений зависит в большей степени от минерального состава почв в различных географических расположениях. Однако степень усвояемости минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании результатов, полученных в ходе исследования, можно отметить, что уровень содержания определенного минерального элемента в почве не всегда определяет уровень его содержания в растении. Так, М.А. Сенченко и М.В. Степанова (2019) в научном исследовании, посвященном миграции тяжелых металлов, отмечают, что содержание минеральных веществ в растениях обусловлено не только уровнем содержания исследуемых веществ непосредственно в составе почв, но и количеством полученных из воздуха и растворенных минеральных веществ в осадках.

При исследовании содержания меди (Cu) в растениях и почве из разных географических зон России отмечена неравномерная закономерность содержания данного элемента в растениях в зависимости от его уровня в почве. Так, при исследовании содержания меди в образцах растений и почв было установлено, что степень усвояемости элемента растениями из почв не имела прямой зависимости от уровня данного минерального компонента в составе почвы, однако имела определенную тенденцию относительно географического расположения. Содержание меди в почвах ЦФО составило наибольшее значение показателя, тогда как в составе растительной массы данный компонент содержался в наименьшем количестве относительно других исследуемых регионов. В почвах Алтайского края содержание меди находилось на самом низком уровне, тогда как в составе растительной массы содержание данного элемента было самым высоким. Данные результаты свидетельствуют о том, что уровень биоаккумуляции меди в большей степени зависит от внешних факторов. Согласно литературным источникам такими факторами являются: буферная среда почв, свойства гумуса, солнечная активность и антропогенные факторы [4].

При исследовании содержания калия (K) было установлено, что содержание данного минерального компонента было наибольшим в составе почв Алтайского края. Также было выявлено, что биоаккумуляция данного компонента в условиях указанной природно-климатической зоны была также высокой, что выражалось в наибольшем содержании меди в составе растений Алтайского края. Однако в условиях Краснодарского края и ЦФО такая закономерность отсутствовала (см. рисунок). Уровень усвояемости калия в большей степени, чем уровень усвояемости других минералов, зависит от степени развития корневой системы. Это особенно хорошо прослеживается в условиях Алтайского края. Корневая система растений в Алтайском крае отличалась, превалируя по массе, длине, количеству боковых корней и по насыщенности почв корнями. Также снижение уровня усвояемости данного минерала растениями имеет зависимость от эрозии почв, особенно хорошо это наблюдается в условиях ЦФО [8].

Важным элементом для мониторинговых исследований является магний (Mg). Следует отметить, что активность миграции Mg из почвы в растительную массу имеет ярко выраженную тенденцию в условиях теплого климата. Это прослеживается на примере образцов, собранных в Краснодарском крае [1].

Наиболее структурная тенденция биоаккумуляции проявилась при исследовании Mn (см. рисунок). На основании полученных результатов по содержанию указанного минерального компонента в составе почв и растений выявлена связь, которая выражена в зависимости уровня значения

показателя содержания Mn в составе растений от уровня его содержания в составе почв разного географического расположения. Данные результаты объясняются условиями биодоступности марганца на черноземных и суглинистых почвах ЦФО, а также уровнем их кислотности [15].

Как видно, в проведенном мониторинговом исследовании хорошо прослеживается связь содержания отдельных минеральных компонентов с погодно-климатическими, а также почвообразующими факторами исследуемой агроэкосистемы. Так, Н.З. Мирмовсумова (2022) отмечает, что на усвояемость веществ растениями оказывает влияние большое количество факторов. Совершенно справедливо сказать, что такое понятие, как географическое происхождение включает в себя комплекс факторов, влияющих на степень усвояемости минеральных веществ растениями. К таким факторам можно отнести параметры окружающей среды (температура, влажность атмосферы и влажность почвы, степень освещенности участка, кислотно-щелочная реакция грунта, механический и химический состав).

Многие исследователи отмечают, что низкие температуры способствуют замедлению всасывания некоторых минеральных веществ и тормозят поглощение основных элементов питания корневой системой растений. Таким образом, при проведении мониторинга минерального состава растений в зависимости от их географического происхождения, необходимо соблюдать регулярность исследований с целью пополнения базы данных и выявления основных региональных закономерностей миграции минеральных компонентов в исследуемых агроэкосистемах.

## ВЫВОДЫ

1. При исследовании содержания меди (Cu) было установлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена Алтайского края. В процессе исследования содержания калия (К) было выявлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента снова было обнаружено в образцах сена Алтайского края. При исследовании содержания магния (Mg) было определено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов также варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена Краснодарского края. В результате исследования содержания марганца (Mn) было установлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов, как и в случае с другими минеральными элементами, варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена, собранных в Центральном федеральном округе.

2. На основании полученных результатов было установлено, что степень усвояемости минеральных элементов, выраженная в коэффициенте использования растениями элемента питания из запасов почвы (КИП), в Алтайском крае составила: медь (Cu) – 67,4 %; калий (К) – 56,9 %; магний (Mg) – 8,1 %; марганец (Mn) – 58,4 %. Степень усвояемости исследуемых компонентов в системе «почва – растение» Краснодарского края составила: медь (Cu) – 41,8 %; калий (К) – 48,1 %; магний (Mg) – 21,5 %; марганец (Mn) – 71,1 %. КИП в агроэкосистеме ЦФО составила: медь (Cu) – 28,5 %; калий (К) – 84,8 %; магний (Mg) – 19,8 %; марганец (Mn) – 61,7 %.

3. Сравнительный анализ миграции минеральных веществ – меди, калия, магния и марганца в системе «почва – растение» показал, что содержание минеральных компонентов в составе растений не имеет прямой зависимости от уровня содержания соответствующих минералов в составе почв. Уровень содержания их зависит в большей степени от погодно-климатических и почвообразующих факторов местности, а степень усвояемости и накопления исследуемых минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аканова Н.И., Козлова А.В., Мухина М.Т.* Роль магния в системе питания растений // Агрохимический вестник. – 2021. – № 6. – С. 66–71.
2. *Гасанова В.Ю.* Содержание микроэлементов в кормах и крови животных // Студенты – науке и практике АПК: мат-лы 104-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов. – Витебск, 2019. – С. 39–44.

3. *Дьяченко О.В.* Влияние минеральных удобрений на биохимический состав сена многолетних люцерно-мятликовых травосмесей на дерново-подзолистой почве Нечерноземной зоны Центрального региона РФ // Теория и практика современной аграрной науки. – 2021. – № 2. – С. 82–84.
4. *Жуйков Д.В.* Мониторинг содержания микроэлементов (Mn, Zn, Co) в агроценозах юго-западной части Центрально-Черноземного района России // Земледелие. – 2020. – № 5. – С. 9–13.
5. *Иваницев В.В.* Биоаккумуляция, гомеостаз и токсичность меди в растениях // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 33–40.
6. *Кирсанов В.В., Цой Ю.А.* Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 27–32. – DOI: 10.22314/2073-7599-202014-3-27-32.
7. *Лазарева М.В., Шкиль Н.А., Мезенцева С.В.* Обоснование фармакологической коррекции минерального состава рационов для животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3. – С. 110–115.
8. *Мацнев И.Н., Анисимова Т.Г.* Влияние микроэлементов на продуктивность сельскохозяйственных культур // Наука и Образование. – 2021. – № 2, Т. 4. – С. 76–78.
9. *Прокошев В.В.* Место и значение калия в агроэкосистеме // Российский химический журнал. – 2005. – Т XLIX, № 3. – С. 35–41.
10. *Сысо А.И., Сиромля Т.И.* Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. – 2018. – № 4. – С. 137–150.
11. *Токарь В.В.* Заболевания овец при недостаточности некоторых микроэлементов в корме // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики байкальского региона. – 2021. – № 2. – С. 298–301.
12. *Трубников Ю.Н., Бопп В.Л.* Влияние минеральных удобрений и гербицидов на семенную продуктивность многолетних трав в Приенисейской Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1. – С. 83–90. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-83-90.
13. *Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Аюпов М.Р.* Применение комбинированного облучения в светокультуре // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т 14, № 2. – С. 46–52. – DOI: 10.22314/20737599-2020-14-2-46-52.
14. *Фоменко П.А., Богатырева Е.В., Гусаров И.В.* Химический состав кормов, заготовленных в Вологодской области // Стратегия и тактика реализации социально-экономических реформ: региональный аспект: мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Вологда, 12–14 декабря 2018 г.). – Вологда, 2022. – С. 474–477.
15. *Manganese* in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation / S. Alejandro, S. Höller, B. Meier, E. Peiter // Front. Plant Sci. – 2020. – Vol. 3. – P. 11:300. – DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.
16. *Al-Sagheer A.A.* Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits // Animals. – 2019. – Vol. 9, № 3. – P. 95.
17. *Ghorbani Y.* Repurposing legacy metallurgical data Part I: A move toward dry laboratories and data bank // Minerals Engineering. – 2020. – Vol. 159. – P. 106646.
18. *Ghorbani Y.* Repurposing legacy metallurgical data part II: Case studies of plant performance optimisation and process simulation // Minerals Engineering. – 2021. – Vol. 160. – P. 106667.
19. *Ikoyi A.Y., Younge B.A.* Influence of forage particle size and residual moisture on near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration accuracy for macro-mineral determination // Animal Feed Science and Technology. – 2020. – Vol. 270. – P. 114674.
20. *Janyszek-Sołtysiak M.* Mineral contents in Aboveground Biomass of Sedges (Carex L., Cyperaceae) // Energies. – 2021. – Vol. 14, № 23. – P. 8007.
21. *Reiné R., Ascaso J., Barrantes O.* Nutritional quality of plant species in Pyrenean hay meadows of high diversity // Agronomy. – 2020. – Vol. 10, № 6. – P. 883.
22. *Singh K.K.* Effect of feeding micro-nutrient fertilized oat hay based diets on nutrient utilization and mineral balance in growing lambs // Range Management and Agroforestry. – 2020. – Vol. 41, № 1. – P. 141–146.
23. *ГОСТ ISO 6498–2014.* Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний. – М.: Стандартинформ, 2023. – 46 с.
24. *М-МВИ-80-2008*. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии м-мви-80-2008. – СПб., 2008. – 27 с.

## REFERENCES

1. Akanova N.I., Kozlova A.V., Mukhina M.T., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2021, No. 6, pp. 66–71. (In Russ.)

2. Gasanova V.Yu., *Studenty – nauke i praktike APK* (The content of trace elements in animal feed and blood), Materials of the 104-th International Scientific and practical Conference of students and undergraduates, Vitebsk, 2019, pp. 39–44. (In Russ.)
3. D'yachenko O.V., *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki*, 2021, No. 2, pp. 82–84. (In Russ.)
4. Zhuykov D.V., *Zemledelie*, 2020, No. 5, pp. 9–13. (In Russ.)
5. Ivanitsev V.V., *Izvestiya TulGU. Estestvennye nauki*, 2020, No. 1, pp. 33–40. (In Russ.)
6. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2020, T. 14, No. 3, pp. 27–32, DOI: 10.22314/2073-7599-202014-3-27-32. (In Russ.)
7. Lazareva M.V., Shkil' N.A., Mezentseva S.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 3, pp. 110–115. (In Russ.)
8. Matsnev I.N., Anisimova T.G., *Nauka i Obrazovanie*, 2021, No. 2, T. 4, pp. 76–78. (In Russ.)
9. Prokoshev V.V., *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2005, T XLIX, No. 3, pp. 35–41. (In Russ.)
10. Syso A.I., Siromlya T.I., *Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soedineniy v prirodnykh sredakh*, 2018, No. 4, pp. 137–150. (In Russ.)
11. Tokar' V.V., *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnogo sektora ekonomiki baykal'skogo regiona*, 2021, No. 2, pp. 298–301. (In Russ.)
12. Trubnikov Yu.N., Bopp V.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 1, pp. 83–90, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-83-90. (In Russ.)
13. Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Ayupov M.R., *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2020, T 14, No. 2, pp. 46–52, DOI: 10.22314/20737599-2020-14-2-46-52. (In Russ.)
14. Fomenko P.A., Bogatyreva E.V., Gusarov I.V., *Strategiya i taktika realizatsii sotsial'no-ekonomicheskikh reform* (Strategy and tactics of the implementation of socio-economic reforms: a regional aspect), Proceedings of the VIII International Scientific and Practical conference Vologda, 2022, pp. 474–477. (In Russ.)
15. Alejandro S., Höller S., Meier B., Peiter E., Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation, *Front. Plant Sci.*, 2020, Vol. 3, pp. 11:300, DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.
16. Al-Sagheer A.A., Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits, *Animals*, 2019, Vol. 9, No. 3, pp. 95.
17. Ghorbani Y., Repurposing legacy metallurgical data Part I: A move toward dry laboratories and data bank, *Minerals Engineering*, 2020, Vol. 159, pp. 106646.
18. Ghorbani Y., Repurposing legacy metallurgical data part II: Case studies of plant performance optimisation and process simulation, *Minerals Engineering*, 2021, Vol. 160, pp. 106667.
19. Ikoyi A.Y., Younge B.A., Influence of forage particle size and residual moisture on near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration accuracy for macro-mineral determination, *Animal Feed Science and Technology*, 2020, Vol. 270, pp. 114674.
20. Janyszek-Sołtysiak M., Mineral contents in Aboveground Biomass of Sedges (Carex L., Cyperaceae), *Energies*, 2021, Vol. 14, No. 23, pp. 8007.
21. Reiné R., Ascaso J., Barrantes O., Nutritional quality of plant species in Pyrenean hay meadows of high diversity, *Agronomy*, 2020, Vol. 10, No. 6, pp. 883.
22. Singh K.K., Effect of feeding micro-nutrient fertilized oat hay based diets on nutrient utilization and mineral balance in growing lambs, *Range Management and Agroforestry*, 2020, Vol. 41, No. 1, pp. 141–146.
23. *GOST ISO 6498–2014*, Korma kombikorma. Podgotovka prob dlya ispytaniy (Compound feed. Preparation of samples for testing), Moscow: Standartinform, 2023, 46 p. (In Russ.)
24. *M-MVI-80-2008*, Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli elementov v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniyakh metodami atomno-emissionnoy i atomno-absorbtsionnoy spektrometrii m-mvi-80-2008 (Methodology for measuring the mass fraction of elements in soil samples, soils and bottom sediments using atomic emission and atomicabsorption spectrometry m-mvi-80-2008), Sankt- Petersburg, 2008, 27 p. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*О.В. Серебрякова,* старший научный сотрудник
*М.Е. Белышкина,* доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*O.V. Serebryakova,* senior researcher
*M.E. Belyshkina,* doctor of agricultural sciences, Chief Researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-190-197
УДК 633.111.1:631.524.7

# ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

**А.В. Сидоров, Д.Ф. Федосенко, Н.С. Герасимова**
*Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, Россия*
**E-mail:** asidorovs@list.ru

**Для цитирования:** *Сидоров А.В., Федосенко Д.Ф., Герасимова Н.С.* Влияние генотипа и погодных условий на содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Красноярского края // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 190–197. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-190-197.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, сорт, белок, температура, осадки, корреляция.

**Реферат.** *В течение пяти лет исследований (2019–2023 гг.) было проанализировано влияние генотипа и метеорологических факторов на содержание белка в зерне пшеницы. Полевые опыты закладывали на опытных полях Красноярского НИИСХ, расположенных в лесостепной зоне. Предшественник – пар. Перед посевом вносили азотные удобрения в дозе $N_{60}$. Массовая доля белка в зерне определена по ГОСТ 10846–91. Было изучено десять сортов яровой мягкой пшеницы, в том числе семь сортов селекции Красноярского НИИСХ и три стандарта Новосибирская 15 (раннеспелый), Алтайская 70 (среднеранний), Алтайская 75 (среднеспелый). Среднее содержание белка по сортам колебалось от 12,74 до 15,09 %. Содержание белка выше 14 % сформировали скороспелые сорта Новосибирская 15, Канская, Уярочка, Алтайская 70 и среднеспелый Алтайская 75. Связь содержания белка с урожаем зерна во все годы была отрицательной и варьировала от слабой r = -0,132 до средней достоверной r = -0,619. Для формирования высокого содержания белка необходимы умеренные осадки и температура в репродуктивный период. Статистически значимая отрицательная корреляция между содержанием белка и осадками отмечена в июле (r = -0,836), со среднесуточной температурой в августе (r = -0,520). Отмечена сортовая специфика по реакции на осадки и температуру. Наиболее тесно с содержанием белка связано содержание клейковины. Во все годы выявлена достоверная положительная связь, которая колебалась от r = 0,650 до r = 0,939. Связь с качеством клейковины была слабой и неоднозначной, с силой муки во все годы положительной и колебалась от средней r = 0,476 до сильной r = 0,868. Связь объема хлеба и общей хлебопекарной оценки с содержанием белка была положительной с колебаниями от слабой до средней, с натурой зерна связь была отрицательной.*

# IMPACT OF GENOTYPE AND WEATHER CONDITIONS ON PROTEIN CONTENT IN SPRING SOFT WHEAT GRAIN UNDER FOREST-STEPPE CONDITIONS OF KRASNOYARSK REGION

**A.V. Sidorov, D.F. Fedosenko, N.S. Gerasimova**
*Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*
**E-mail:** asidorovs@list.ru

**Keywords:** spring wheat, variety, protein, temperature, precipitation, correlation.

**Abstract.** *Based on 5 years of research (2019–2023), the impact of genotype and meteorological factors on the protein content of wheat grain was analyzed. Field experiments conducted on the experimental fields of the Krasnoyarsk RIA, located in the forest-steppe zone. The predecessor is bare fallow. Nitrogen fertilizers at a dose of N60 were applied prior to direct seeding. The mass fraction of protein in the grain is determined according to GOST 10846-91. 10 varieties of spring soft wheat were studied, including 7 varieties of selection of the Krasnoyarsk RIA and 3 standards Novosibirskaya 15 (early ripening), Altayskaya 70 (mid-early), Altayskaya 75 (mid-ripening). The average protein content by varieties ranged from 12,74 % to 15,09 %. The protein content above 14 % was formed by early ripening varieties Novosibirskaya 15, Kanskaya, Uyarochka, Altayskaya 70, and mid-ripening Altayskaya 75. The linkage of protein content with grain yield in all years was negative and ranged from weak r = -0,132 to medium significant r = -0,619. Moderate precipitation and temperature during the reproductive period are necessary for the formation of a high protein content. A statistically significant negative correlation between protein content and precipitation was noted in july (r = -0,836), with an average daily temperature in august (r*

*= -0,520). Varietal specificity of the reaction to precipitation and temperature was noted. Gluten content is most closely related to protein content. In all years, a significant positive relationship was revealed, which ranged from r = 0,650 to r = 0,939. The linkage with gluten quality was weak and ambiguous, with flour strength in all years was positive and ranged from average r = 0,476 to strong r = 0,868. The linkage of bread volume and total baking score with protein content was positive with fluctuations from weak to medium, with grain nature the relationship was negative.*

Яровая пшеница является важной зерновой культурой, широко распространенной во всем мире. В 2023 г. среди зерновых культур, возделываемых в Российской Федерации, она уступала только озимой пшенице. Площадь ее посева составила 14,1 млн га [1].

Одной из основных задач, стоящих перед сельским хозяйством, является повышение объемов производства высококачественного зерна [2, 3]. Проблема повышения стабильности показателей качества также имеет большое значение [4]. Качество зерна пшеницы определяется как наследственными особенностями, так и условиями возделывания, оно включает в себя более 20 признаков, которые изучаются как в процессе селекционных исследований, так и при изучении сорта в государственном сортоиспытании [5].

Содержание белка в зерне является важнейшим признаком качества. С содержанием белка в зерне связана не только питательность хлеба, но и технологические и мукомольно-хлебопекарные свойства [6]. Значительный объем пшеничного зерна используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных и высокое содержание белка в зерне положительно сказывается на их продуктивности [7].

Помимо содержания белка большое значение в селекции придается стабильности этого показателя по годам. Степень варьирования содержания белка помимо погодных условий определяется адаптивным потенциалом сорта. Степень адаптивности сорта оценивается такими показателями, как пластичность, стабильность, стрессоустойчивость и др. [8].

По поводу влияния погодных условий на содержание белка существуют различные мнения. Некоторые авторы указывают на существенное влияние количества осадков и температуры на содержание белка в период «колошение – восковая спелость» [9]. В исследованиях других авторов существенного влияния этих факторов на содержание белка не отмечено [10]. Очевидно, это объясняется региональными различиями по температурному режиму, объему и распределению осадков в течение вегетационного периода, а также различными наборами сортов в опытах.

Отрицательную корреляцию между содержанием белка и урожаем пшеницы отмечают практически все исследователи [11]. Кроме того, содержание белка находится в сложной связи с другими показателями качества, которая может колебаться от средней отрицательной до высокой положительной [12]. Все это указывает на сложность решения проблемы повышение количества белка методами селекции. Успех в селекции во многом зависит от знания закономерностей формирования количества белка в конкретном регионе.

Цель исследований: выявить закономерности формирования количества белка яровой пшеницы в условиях лесостепи Красноярского края.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опыты были заложены в 2019–2023 гг. на опытных полях Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенных в лесостепной зоне. Было изучено десять сортов яровой мягкой пшеницы, в том числе семь сортов селекции Красноярского НИИСХ и три стандарта Новосибирская 15 (раннеспелый), Алтайская 70 (среднеранний), Алтайская 75 (среднеспелый). Сорта Новосибирская 15 и Алтайская 75 относятся к сильной пшенице, Алтайская 70, Канская, Красноярская 12, Бейская – к ценной.

Предшественник – пар, норма высева – 500 всхожих семян на 1 м$^2$, площадь делянки – 30 м$^2$ в четырех повторениях. Перед посевом вносили азотные удобрения в дозе $N_{60.}$ Закладку опыта, учеты и наблюдения проводили согласно Методике государственного сортоиспытания (1989). Массовая доля белка в зерне определена по ГОСТ 10846–91.

Метеорологические условия в годы исследований характеризовались сильной изменчивостью. В 2019 г. наблюдался недостаток влаги в июне (81 % к средней многолетней) и августе (60 %), при температуре в августе выше средней многолетней на 2,6 $^0$С. В 2020 г. в течение вегетационного периода осадки были выше средней многолетней и составили в июне 182 %, в июле

131 %, в августе 122 % при пониженной температуре в июне на 1,5 $^0$С. В 2021 г. в июне отмечено избыточное увлажнение (229 %) при пониженной температуре на 1,6 $^0$С. В июле наблюдался недостаток осадков – 57 %.

В 2022 г. отмечено избыточное увлажнение в июне (141 %) при пониженных температурах в июле на 1,4 $^0$С и августе на 0,7 $^0$С, что привело к значительному увеличению вегетационного периода. В целом лето 2023 г. можно считать жарким с дефицитом осадков. В июне осадков выпало 78 % к норме, в июле 58 %, в августе 46 %. Температура была выше в июне на 1,4 $^0$С, в июле на 1,0 $^0$С, в августе на 2,5 $^0$С. Однако осадки выпадали в критические периоды для растений, поэтому урожай был достаточно высоким (табл. 1).

*Таблица 1*

**Погодные условия в период вегетации яровой пшеницы**
**Weather conditions during the spring wheat growing season**

| Год | Май | Июнь | Июль | Август |
|---|---|---|---|---|
| Количество осадков, мм | | | | |
| 2019 | 6,6 | 43,1 | 82,3 | 38,8 |
| 2020 | 45,6 | 96,6 | 109,3 | 79,4 |
| 2021 | 30,3 | 121,8 | 48,0 | 62,1 |
| 2022 | 15,2 | 74,8 | 48,5 | 65,0 |
| 2023 | 39,7 | 41,6 | 48,6 | 30,0 |
| Ср. многолетняя | 34,8 | 53,1 | 83,6 | 64,9 |
| Среднемесячная температура воздуха, $^0$С | | | | |
| 2019 | 9,8 | 18,2 | 18,8 | 18,2 |
| 2020 | 14,0 | 15,7 | 18,9 | 17,3 |
| 2021 | 9,9 | 15,6 | 19,7 | 17,4 |
| 2022 | 13,9 | 17,0 | 17,7 | 14,9 |
| 2023 | 9,4 | 18,6 | 20,1 | 18,1 |
| Ср. многолетняя | 10,7 | 17,2 | 19,1 | 15,6 |

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В среднем за 5 лет (2019–2023 гг.) содержание белка по сортам колебалось от 12,74 % (Белоярская) до 15,09 % (Новосибирская 15). Содержание белка выше 14 % сформировали сорта Новосибирская 15, Канская, Уярочка, Алтайская 70, Алтайская 75 (табл. 2). Однако наименьшее варьирование по этому показателю отмечено у сортов с пониженным содержанием белка, таких как Свирель, Белоярская, Красноярская 12. Самое высокое среднее содержание белка (14,70 %) отмечено в 2022 г., самое низкое (12,58 %) в 2020 г.

*Таблица 2*

**Содержание белка в зерне яровой пшеницы (2019–2023 гг.)**
**Protein content in spring wheat grain (2019–2023)**

| Сорт | Содержание белка, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | Среднее | *V*, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Новосибирская 15 | 14,53 | 13,44 | 15,48 | 16,07 | 15,93 | 15,09 | 7,3 |
| Канская | 13,65 | 14,38 | 15,83 | 16,04 | 13,52 | 14,68 | 8,1 |
| Алтайская 70 | 14,45 | 11,92 | 15,20 | 14,66 | 14,64 | 14,17 | 9,1 |
| Уярочка | 15,26 | 12,53 | 15,18 | 15,03 | 13,32 | 14,26 | 8,8 |
| Белоярская | 12,27 | 11,96 | 13,37 | 13,82 | 12,26 | 12,74 | 6,4 |
| Алтайская 75 | 14,79 | 12,88 | 15,80 | 13,90 | 13,27 | 14,13 | 8,4 |

*Окончание табл. 2*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Красноярская 12 | 13,28 | 13,82 | 13,14 | 15,20 | 12,93 | 13,07 | 6,7 |
| Курагинская 2 | 12,78 | 11,64 | 14,29 | 14,45 | 13,22 | 13,28 | 8,7 |
| Бейская | 13,16 | 11,28 | 13,24 | 14,17 | 13,46 | 13,06 | 8,2 |
| Свирель | 13,04 | 11,90 | 13,57 | 13,67 | 12,95 | 13,03 | 5,4 |
| Среднее по году | 13,72 | 12,58 | 14,51 | 14,70 | 13,55 | | |
| $НСР_{0,5}$ | 0,39 | 0,40 | 0,33 | 0,51 | 0,46 | | |

Связь содержания белка с урожаем зерна во все годы была отрицательной и варьировала от слабой ($r$ = -0,132) в 2020 г. до средней достоверной ($r$ = -0,619) в 2022 г.

Дисперсионный анализ показал, что содержание белка в зерне примерно в равной степени определяется условиями выращивания и сортовыми особенностями. Влияние фактора среды на содержание белка составило 38,1 %, сорта – 36,2 %, взаимодействие факторов – 23,9 %.

Чтобы оценить сортовую реакцию на накопление белка под влиянием температуры и количества осадков был проведен анализ погодных условий по отдельным периодам вегетации. Изучали влияние температуры и осадков на содержание белка по периодам «всходы – колошение», «колошение – восковая спелость», окончание налива и созревание (10 дней до наступления восковой спелости и 10 дней после).

В целом подтвердилась отрицательная зависимость содержания белка от количества осадков, но существует и сортовая специфика (табл. 3). Самая высокая отрицательная корреляция отмечена у более позднеспелых сортов $r$ = -0,729 (Бейская) и $r$ = -0,542 (Свирель).

В фазу «колошение – восковая спелость» на осадки сильнее всего реагировали скороспелые сорта Новосибирская 15 ($r$ = -0,872) и Алтайская 70 ($r$ = -0,804), в период «налив – созревание» Алтайская 75 ($r$ = -0,772). Сорта Канская и Красноярская 12 во все фазы на осадки реагировали положительно.

*Таблица 3*

**Влияние осадков на содержание белка в зерне яровой пшеницы (2019–2023 гг.)**
**Effect of precipitation on protein content in spring wheat grain (2019–2023)**

| Сорт | Период | | |
|---|---|---|---|
| | «всходы – колошение» | «колошение – восковая спелость» | «налив – созревание» |
| Новосибирская 15 | -0,275 | -0,872* | -0,318 |
| Канская | 0,536 | 0,212 | 0,185 |
| Алтайская 70 | -0,362 | -0,804* | -0,511 |
| Уярочка | -0,182 | -0,431 | 0,062 |
| Белоярская | 0,119 | -0,368 | 0,451 |
| Алтайская 75 | -0,038 | -0,021 | -0,772* |
| Красноярская 12 | 0,044 | 0,363 | 0,226 |
| Курагинская 2 | -0,454 | 0,020 | -0,383 |
| Бейская | -0,792* | -0,418 | -0,461 |
| Свирель | -0,542 | -0,659 | -0,497 |

*Примечание*. *достоверно на уровне 5 %.

Связь среднесуточной температуры с содержанием белка у большинства сортов была отрицательной, но недостоверной (табл. 4). Причиной является высокая среднесуточная температура в период «налив – созревание», которая наблюдалась четыре года из пяти.

*Таблица 4*

**Влияние среднесуточной температуры на содержание белка в зерне пшеницы (2019–2023 гг.)**
**Effect of average daily temperature on protein content in wheat grain (2019–2023)**

| Сорт | Период | | |
|---|---|---|---|
| | «всходы – колошение» | «колошение – восковая спелость» | «налив – созревание» |
| Новосибирская 15 | 0,201 | 0,180 | 0,233 |
| Канская | -0,581 | -0,493 | -0,512 |
| Алтайская 70 | 0,415 | 0,002 | -0,389 |
| Уярочка | -0,405 | -0,265 | -0,568 |
| Белоярская | -0,229 | -0,305 | 0,325 |
| Алтайская 75 | 0,163 | 0,255 | -0,490 |
| Красноярская 12 | -0,512 | -0,079 | 0,309 |
| Курагинская 2 | -0,276 | -0,372 | -0,107 |
| Бейская | -0,361 | -0,593 | -0,336 |
| Свирель | 0,166 | -0,353 | -0,535 |

Слабая положительная связь температуры с содержанием белка во все фазы развития отмечена только у сорта Новосибирская 15. В фазу «всходы – колошение» температура оказывала положительное влияние на сорта Алтайская 75 ($r = 0,163$) и Алтайская 70 ($r = 0,415$). В фазу «налив – созревание» на повышенную температуру положительно реагировали сорта Красноярская 12 ($r = 0,309$) и Белоярская ($r = 0,325$), что может говорить об их повышенной жаростойкости.

Определенный интерес представляет анализ связи содержания белка с другими показателями качества. Наиболее тесно с содержанием белка связано содержание клейковины. Во все годы выявлена достоверная положительная связь, которая колебалась от $r = 0,650$ в 2022 г. до $r = 0,939$ в 2023 г. (табл. 5). Связь с качеством клейковины была слабой и неоднозначной. В 2021 и 2023 гг. она была отрицательной, в остальные годы положительной.

*Таблица 5*

**Корреляция содержания белка с другими показателями качества (2019–2023 гг.)**
**Correlation of protein content with other quality attributes (2019–2023)**

| Год | Натура, г/л | Содержание клейковины % | Качество клейковины, ед. ИДК | Сила муки, е.а. | Объем хлеба, мл. | Хлебопекарная оценка, балл |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | 0,001 | 0,703* | 0,157 | 0,476 | 0,514 | 0,393 |
| 2020 | -0,126 | 0,870* | 0,045 | 0,630* | 0,122 | 0,149 |
| 2021 | -0,623 | 0,828* | -0,252 | 0,868* | 0,126 | 0,282 |
| 2022 | -0,130 | 0,650* | 0,505 | – | 0,474 | 0,460 |
| 2023 | -0,552 | 0,939* | -0,116 | – | 0,466 | 0,300 |

*Примечание*.*достоверно на уровне 5 %.

Связь содержания белка с силой муки была во все годы положительной и колебалась от средней ($r = 0,476$) в 2019 г. до сильной ($r = 0,868$) в 2021 г. В 2022 и 2023 гг. сила муки не определялась в связи с выходом из строя альвеографа. Связь с объемом хлеба и общей хлебопекарной оценкой во все годы была положительной и колебалась от слабой ($r = 0,122$) до средней ($r = 0,514$). Аналогичные результаты получены по общей хлебопекарной оценке. Между содержанием белка и натурой в 2019 г. связь отсутствовала. В остальные годы была отрицательной и колебалась от слабой ($r = -0,126$) до средней ($r = -0,552$).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Уровень содержания белка в зерне пшеницы зависит не только от генотипа сорта, но и от возможности его реализации в конкретных почвенно-климатических условиях.

Анализ полученных результатов показал, что у скороспелых сортов содержание белка выше, чем у более позднеспелых. Созревание скороспелых сортов проходит в более благоприятный по температурному режиму период. Корреляция между содержанием белка и продолжительностью вегетационного периода была отрицательной и колебалась от $r$ = -0,498 в 2019 г. до $r$ = -0,684 в 2022 г.

Ряд авторов указывают на отрицательное влияние осадков на содержание белка в зерне [13, 14]. Связь среднесуточной температуры с содержанием белка в зерне в основном положительная [15, 16]. В наших исследованиях достоверная отрицательная корреляция между осадками и содержанием белка отмечена июле ($r$ = -0,836). В августе она была слабой отрицательной ($r$ = -0,130), а в июне слабой положительной ($r$ = 0,150). Наиболее сильно отрицательное влияние на содержание белка в зерне оказывает количество осадков за летний период выше 200 мм и за август выше 60 мм.

Достоверная отрицательная корреляция со среднесуточной температурой ($r$ = -0,520) отмечена в августе. Слабая отрицательная в июле ($r$ = -0,259), а в июне практически отсутствовала ($r$ = 0,020). Отрицательная корреляция объясняется тем, что все годы кроме 2022 г. в июле и первой половине августа фиксировалась довольно высокая среднесуточная температура в пределах 19–20 $^0$C. Наблюдался большой перепад температуры в течение суток. Днем часто температура достигала 30–35 $^0$C, понижаясь в ночные часы до 14–16 $^0$C. Самое высокое содержание белка отмечено в 2022 г., когда температура в этот период была умеренной. Для формирования высокого содержания белка необходимы умеренные осадки и температура в репродуктивный период.

Осадки в вегетативный период непосредственно не влияют на накопление белка, но сдвигают период созревания на более прохладный период. Высокая температура в вегетативный период развития приводила к сокращению вегетационного периода, сдвигая созревание на более жаркий период, что в конечном итоге приводило к снижению содержания белка.

Результаты, полученные при анализе связи содержания белка с другими показателями качества, подтверждают мнение о сложности сочетания в одном сорте большинства показателей качества. Связь эта колебалась от высокой положительной до средней отрицательной. Кроме того, она в значительной мере колебалась в зависимости от условий года. Наиболее тесно с содержанием белка коррелирует содержание клейковины и сила муки.

## ВЫВОДЫ

1. Влияние гидротермических условий и генотипических особенностей сорта на содержание белка в зерне пшеницы находится на близком уровне (38,1 и 36,2 %), при довольно высоком взаимодействии факторов.

2. Варьирование содержания белка по годам и по сортам слабое и не превышает 10 %. Наиболее стабильны по содержанию белка сорта с более низким его показателем.

3. Для использования в селекции на увеличение содержание белка рекомендуются сорта Новосибирская 15, Канская, Уярочка.

4. Самое высокое содержание белка формируется при умеренных осадках и умеренной среднесуточной температуре. Избыточные осадки (более 100 мм) и высокая температура (выше 28 $^0$C) в генеративный период отрицательно сказываются на его содержании. Отмечены сортовые особенности по реакции на гидротермические условия.

5. Содержание белка наиболее тесно связано с содержанием клейковины ($r$ = 0,650–0,939) и силой муки ($r$ = 0,650–0,868).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Захаров В.Г., Яковлева О.Д.* Сорта яровой мягкой пшеницы селекции Ульяновского НИИСХ для условий Волго-Вятского региона // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 3 (47). – С. 20–28. – DOI: 10.47737/2307-2873_2024_47_20.
2. *Создание* адаптивных к условиям Западной Сибири и Северного Казахстана сортов яровой мягкой пшеницы с использованием цитоплазмы других видов / Н.А. Поползухина, Н.Г. Мазепа, П.В. Поползухин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 1 (70). – С. 121–129. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-121-129.

3. *Models* of grain quality in wheat – a review / Nuttall J.G., O'Leary G.J., Panozzo J.F. [et al.] // Field Crop Research. – 2017. – Vol. 202. – P. 136–145. – DOI: 10.1016/j.fcr.2015.12.011.
4. *Галушко Н.А., Комаров Н.М., Соколенко Н.И.* Качество зерна новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции Северо-Кавказского ФНАЦ // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 2 (51). – С. 7–14. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-7-14.
5. *Урожайность* и качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы селекции «ФИЦ «Немчиновка» / Б.И. Сандухадзе, Р.З. Мамедов, В.В. Бугрова [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2023. – № 3 (15). – С. 54–59. – DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59.
6. *Оценка* сортообразцов яровой мягкой пшеницы по показателям качества зерна в изменяющихся условиях Средневолжского региона / Т.Ю. Таранова, С.Е. Роменская, Е.А. Дёмина [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2 (74). – С. 25–31. – DOI: 10.12737/2073-0462-2024-25-31.
7. *Исмагилов Р.Р., Абдуллоев В.Х.* Кормовые качества зерна озимых зерновых культур в южной лесостепи Республики Башкортостан // Пермский аграрный вестник. – 2021. – № 1 (33). – С. 35–43. – DOI: 10.12345/2307-2873_2021_33_35.
8. *Сухоруков А.Ф., Сухоруков А.А., Бугакова Н.Э.* Адаптивный потенциал сортов пшеницы мягкой озимой по качеству зерна в Среднем Поволжье // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 6. – С. 62–66. – DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-62-66.
9. *Богдан П.М., Коновалова И.В., Клыков А.Г.* Влияние абиотических факторов на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – № 1. – С. 16–20. – DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10103.
10. *Сухоруков А.Ф., Сухоруков А.А., Бугакова Н.Э.* Влияние метеорологических условий на качество зерна озимой пшеницы Бирюза // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 5. – С. 22–25. – DOI: 10.30850/vrsn/2021/5/22-25.
11. *Изучение* исходного материала озимой пшеницы для селекции на качество зерна / Н.С. Кравченко, С.В. Подгорный, Н.Г. Игнатьева [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 6. – С. 24–32. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-3.
12. *Варьирование* признаков качества зерна озимой пшеницы в степной зоне Ростовской области / М.А. Фоменко, Т.А. Олейникова, Е.А. Бабровская [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 3. – С. 4–10. – DOI: 10.31857/10.31857/S2500208224030018.
13. *Обоснование* влияния агрофизических факторов и климатических условий на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Нижнем Поволжье / А.П. Солодовников, Д.А. Уполовников, А.С. Линьков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 4. – С. 48–52. – DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp48-52.
14. *Особенности* формирования содержания белка в зерне пшеницы мягкой яровой в условиях Западной Сибири / И.В. Пахотина, Е.Ю. Игнатьева, Л.П. Россеева [и др.] // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5. – С. 37–45. – DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45.
15. *Дёмина Н.Ф.* Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 4 (23). – С. 433–440. – DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440.
16. *Волкова Л.В.* Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – № 3 (24). – С. 377–388. – DOI:10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388.

## REFERENCES

1. Zakharov V.G., Yakovleva O.D., *Permskij agrarny`j vestnik*, 2023, No. 3 (47), pp. 20–28, DOI: 10.47737/2307-2873_2024_47_20. (In Russ.)
2. Popolzukhina N.A., Mazepa N.G., Popolzukhin P.V. [et al.], *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 1, pp. 121–129, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-121-129. (In Russ.)
3. Nuttall J.G., O'Leary G.J., Panozzo J.F. [et al.], Models of grain quality in wheat – a review, *Field Crop Research*, 2017, Vol. 202, pp. 136–145, DOI: 10.1016/j.fcr.2015.12.011.
4. Galushko N.A., Komarov N.M., Sokolenko N.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2019, No. 2, pp. 7–14, DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-7-14. (In Russ.)
5. Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Bugrova V.V. [et al.], *Zernovoe khozyajstvo Rossii*, 2023, No. 3 (15), pp. 54–59, DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59. (In Russ.)
6. Taranova T.Yu., Romenskaya S.E., Dyomina E.A. [et al.], *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024, No. 2 (74), pp. 25–31, DOI: 10.12737/2073-0462-2024-25-31. (In Russ.)

7. Ismagilov R.R., Abdulloev V.Kh., *Permskij agrarny`j vestnik*, 2021, No. 1 (33), pp. 35–43, DOI: 10.12345/2307-2873_2021_33_35. (In Russ.)
8. Sukhorukov A.F., Sukhorukov A.A., Bugakova N.E., *Zernovoe khozyajstvo Rossii*, 2021, No. 6, pp. 62–66, DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-62-66. (In Russ.)
9. Bogdan P.M., Konovalova I.V., Kly`kov A.G., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, No. 1, pp. 16–20, DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10103. (In Russ.)
10. Sukhorukov A.F., Sukhorukov A.A., Bugakova N.E`., *Vestnik rossijskoj sel`skokhozyajstvennoj nauki*, 2021, №5, pp. 22-25, DOI: 10.30850/vrsn/2021/5/22-25. (In Russ.)
11. Kravchenko N.S., Podgorny`j S.V., Ignat`eva N.G. [et al], *Sibirskij vestnik sel`skokhozyajstvennoj nauki*, 2023, No. 6, pp. 24–32, DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-3. (In Russ.)
12. Fomenko M.A., Olejnikova T.A., Babrovskaya E.A. [et al.], *Vestnik rossijskoj sel`skokhozyajstvennoj nauki*, 2024, No. 3, pp. 4–10, DOI: 10.31857/10.31857/S2500208224030018. (In Russ.)
13. Solodovnikov A.P., Upolovnikov D.A., Lin`kov A.S. [et al.], *Agrarny`j nauchny`j zhurnal*, 2022, No. 4, pp. 48–52, DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp48-52. (In Russ.)
14. Pakhotina I.V., Ignat`eva E.Yu., Rosseeva L.P. [et al.], *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 5, pp. 37–45, DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45. (In Russ.)
15. Dyomina N.F., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 4 (23), pp. 433–440, DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440. (In Russ.)
16. Volkova L.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, No. 3 (24), pp. 377–388, DOI:10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*А.В. Сидоров,* кандидат сельскохозяйственных наук
*Д.Ф. Федосенко,* кандидат сельскохозяйственных наук
*Н.С. Герасимова,* младший научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*A.V. Sidorov,* Candidate of Agricultural Sciences
*D.F. Fedosenko,* Candidate of Agricultural Sciences
*N.S. Gerasimova,* junior researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-198-204
УДК 631.533.3:634.222

# КЛОНАЛЬНОЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ БАКЧАРСКИХ СОРТОВ ЖИМОЛОСТИ СИНЕЙ (LONICERA CAERULEAE L.)

**Е.Н. Сомова, М.Г. Маркова**

*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия*

**E-mail:** markovamg@udman.ru

**Для цитирования:** *Сомова Е.Н., Маркова М.Г.* Клональное микроразмножение бакчарских сортов жимолости синей (Lonicera caeruleae L.) // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 198–204. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-198-204.

**Ключевые слова:** жимолость синяя, клональное микроразмножение, цитокинины, ауксины, коэффициент размножения, укореняемость микрочеренков.

**Реферат.** *Цель исследований – изучить на этапе пролиферации влияние регуляторов роста цитокининовой природы (зеатин, аденин, 2-изопентиладенин, тидиазурон) на коэффициент размножения, на этапе укоренения – влияние различных концентраций ауксинов (0,5, 1,0, 1,5 мг/л) ИМК и ИУК на ризогенез микрочеренков в культуре in vitro. Объекты исследований – микрочеренки жимолости синей сортов Бакчарского опорного пункта северного садоводства: Восторг, Уссульга, Стрежевчанка. Исследования проведены в 2024–2025 гг. в лаборатории биотехнологии УдмФИЦ УрО РАН согласно «Технологии получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур, 2013» и в соответствии с ГОСТ Р 59653–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия». Выявлено существенное увеличение коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем по сортам до 6,5 шт./эксплант с использованием тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л при 3,9 шт./эксплант в контрольном варианте и $НСР_{05}$ 1,2 шт./эксплант. Использование зеатина и 2-изопентиладенина в концентрациях 5,0 мг/л способствовало незначительному увеличению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем до 4,4 и 4,7 шт./эксплант соответственно. К достоверному уменьшению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем до 2,6 шт./эксплант привело использование аденина в концентрации 50 мг/л. Независимо от регуляторов роста значительно активнее пролиферировали микрочеренки жимолости сорта Стрежевчанка, коэффициент размножения составил в среднем 6,1 шт./эксплант. Существенному увеличению укореняемости микрочеренков жимолости синей в среднем до 67,7 и 74,2 % способствовало использование ИМК в концентрациях 1,0 и 1,5 мг/л соответственно при 54,8 % в контрольном варианте и $НСР_{05}$ 7,5 %. Использование ИУК в концентрации 1,5 мг/л также привело к значительному увеличению укореняемости микрочеренков жимолости в среднем до 62,3 %. Независимо от концентрации ауксинов корнеобразование значительно активнее проходило у микрочеренков жимолости сорта Уссульга и составило в среднем 67,2 %.*

# CLONAL MICROPROPAGATION OF BAKCHAR VARIETIES OF BLUE HONEYSUCKLE (LONICERA CAERULEAE L.)

**E.N. Somova, M.G. Markova**

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia*

**E-mail:** markovamg@udman.ru

**Keywords:** blue honeysuckle, clonal micropropagation, cytokinins, auxins, multiplication coefficient, rooting of microcuttings.

**Abstract.** *The aim of the research is to study the effect of cytokinin growth regulators (zeatin, adenine, 2-isopentyl adenine, thidiazuron) on the multiplication coefficient at the proliferation stage; to study the effect of different concentrations of auxins (0.5, 1.0, 1.5 mg/l) indolebutyric acid (IBA) and indoleacetic acid (IAA) on rhizogenesis in vitro culture at the rooting stage. The objects of the research are micro-cuttings of blue honeysuckle of the Bakcharskaya selection varieties Vostorg, Ussulga, Strezhevchanka. The studies were conducted in 2024–2025 in the biotechnology laboratory of the UdmFRC UB RAS according to the "Technology for obtaining planting material of fruit and berry crops improved from viruses, 2013" and in accordance with GOST R 59653–2021 "National standard of the Russian Federation. Planting material for fruit and berry crops. Technical conditions".*

*The multiplication coefficient of blue honeysuckle microcuttings on average by variety increased significantly to 6.5 pcs/explant using thidiazuron at a concentration of 0.1 mg/l, compared to 3.9 pcs/explant in the control variant and the least significant difference (95 % significance) equal to 1.2 pcs/explant. The use of zeatin and 2-isopentyl adenine at concentrations of 5.0 mg/l contributed to a slight increase in the multiplication coefficient of blue honeysuckle microcuttings to an average of 4.4 and 4.7 pcs/explant, respectively. The use of adenine at a concentration of 50 mg/l reliably reduced the multiplication coefficient of blue honeysuckle microcuttings to an average of 2.6 pcs/explant. Regardless of growth regulators, the micro cuttings of honeysuckle of the Strezhevchanka variety proliferated significantly more actively, where the reproduction coefficient averaged 6.1 pcs/explant. The use of IBA at concentrations of 1.0 mg/l and 1.5 mg/l significantly increased the rooting rate of blue honeysuckle microcuttings to an average of 67.7 and 74.2 %, respectively, with 54.8 % in the control variant and the least significant difference (95 % significance) equal to 7.5 %. The use of IAA at a concentration of 1.5 mg/l also led to a significant increase in the rooting of honeysuckle microcuttings, on average up to 62.3 %. More active root formation was observed in micro cuttings of honeysuckle of the Ussulga variety, regardless of the concentration of auxins, and amounted to an average of 67.2 %.*

По данным Минсельхоза РФ, в 2020 г. в России было собрано 1,3 млн т плодов и ягод, самообеспеченность этой продукцией составила 41,2 %. Минсельхоз Российской Федерации ожидает, что производство плодов и ягод к 2025 г. увеличится до 2,2 млн т, при этом оптимистичный сценарий предусматривает достижение показателя в 2,6 млн т [11]. Выполнение задачи по самообеспеченности плодами возможно как увеличением производства продукции традиционных плодово-ягодных культур, так и малораспространенных садовых культур, например, жимолости синей, которая способна давать стабильный урожай в зонах рискованного земледелия. Жимолость синяя (*Lonicera caeruleae L.*) – самая ранняя ягода сезона в условиях северного садоводства. Она созревает на 10–12 дней раньше земляники садовой, в то же время сортовой состав культуры настолько широк, что позволяет растянуть потребление свежих ягод жимолости до 1,5 месяцев [12].

Для сортов жимолости синей белорусской селекции Зинри и Сінявокая Е.В. Колбановой предложена методика клонального микроразмножения для производства высококачественного посадочного материала в сжатые сроки с минимальными затратами [4]. Рассмотрены вопросы оптимизации методики клонального микроразмножения перспективных сортов жимолости синей Югана, Диана, Гжелка. Для данных сортов выявлены оптимальные компоненты питательной среды на всех этапах культивирования *in vitro* [10]. Разработаны приемы клонального микроразмножения некоторых бакчарских сортов жимолости синей за период исследований с 2014 по 2020 гг. в рамках УдмФИЦ УрО РАН. Культивирование микрочеренков проходило с использованием таких регуляторов роста растений цитокининовой природы, как 6-бензиламинопурин (6-БАП), 6-фурфуриламинопурин или кинетин, гиббелеллиновая кислота (ГК). Из ауксинового ряда применялась индолил-3-масляная кислота (ИМК). Опытным путем выявлено также преимущество культивирования жимолости синей на питательной среде Кворина–Лепорье [8, 9].

В настоящее время в условиях Удмуртской Республики хорошо адаптировались недавно внесенные в Госреестр России новые сорта бакчарской селекции: Восторг, Уссульга и Стрежевчанка. Авторами данных сортов являются Надежда Викторовна Савинкова и Андрей Васильевич Гагаркин. У сорта Восторг куст сильнорослый (1,8 м высотой), ветви прямые, разреженные. Ягоды очень крупные (1,6–2,8 г), широковеретеновидной формы, с очень сильным восковым налетом. Созревание раннее, дружное, ягоды во время сбора отделяются очень легко. Урожайность ежегодно высокая от 2,5 кг с куста, максимальная 5,5 кг с куста. Вкус ягод очень гармоничный, кисло-сладкий. Кожица плотная, транспортабельность ягод хорошая [7]. У сорта Уссульга также куст сильнорослый, до 1,9 м высотой, овальный, штамбовый, ветви прямые. Ягоды крупные (масса 1,7–2,2 г), удлиненно-овальные, слабо-бугристые, с сильным восковым налетом. Созревание среднее по срокам, но дружное. Вкус кисло-сладкий, оценен в 4,9 балла. Урожайность ежегодно высокая, в среднем 2,8 кг с куста, максимальная – 4,5 кг с куста. Осыпаемость ягод слабая [1]. Сорт Стрежевчанка – куст сильнорослый, штамбовый, разреженный. Ягоды очень крупные (1,8–2,7 г), широковеретеновидные, со слабым восковым налетом, отчего кажутся почти черными. Созревание раннее, дружное. Ягоды очень удобны для сбора из-за прямых разреженных ветвей, не осыпаются. Вкус ягод кисло-сладкий, кожица тонкая, транспортабельность средняя. Урожайность в среднем 2,5 кг, максимальная 4,5 кг с куста [2].

Для получения качественного сортового посадочного материала жимолости синей требуется применение регуляторов роста. Так как эта культура обладает высокой сортоспецифичностью, подбор оптимальных концентраций регулято-

ров роста является наиболее важным пунктом при размножении жимолости синей в культуре *in vitro*. Исследования были проведены на двух сортах жимолости синей Восторг и Гордость Бакчара [13].

В культуре *in vitro* на этапах субкультивирования большой практический интерес для увеличения коэффициента размножения представляет применение таких регуляторов роста растений цитокининовой природы, как зеатин, аденин, 2-изопентиладенин и тидиазурон, которые ранее нами не были изучены. Зеатин – фитогормон-цитокинин аденинового типа, впервые был выделен из кукурузы. Как и многие другие цитокинины, зеатин используется в основном в получении каллусов, необходимых впоследствии для клонального микроразмножения или иных генетических модификаций. Аденин (6-аминопурин) – пуриновое основание из группы азотистых оснований, входит в состав нуклеиновых кислот, нуклеозидов и адениновых нуклеотидов. Играет основную роль в обмене энергии в клетках живых организмов, универсальный источник энергии для всех биохимических процессов. 2-изопентиладенин – цитокинин, стимулирует деление растительных клеток, рост и развитие активных растущих частей, дифференцировку каллуса, способствует размножению микропобегов растений *in vitro*. Тидиазурон способствует органогенезу и регенерации растений, демонстрирует уникальное свойство имитировать эффекты ауксина и цитокинина на рост и дифференциацию культивируемых микрорастений [5, 13–15].

Также в клональном микроразмножении жимолости синей для эффективного корнеобразования актуально изучить действие различных концентраций таких ауксинов, как индолил-3-масляная кислота (ИМК) и индолилуксусная кислота (ИУК) [6].

Цель исследований – изучить на этапе пролиферации влияние регуляторов роста цитокининовой природы (зеатин, аденин, 2-изопентиладенин, тидиазурон) на коэффициент размножения, на этапе укоренения – влияние различных концентраций ауксинов ИМК и ИУК в культуре *in vitro* сортов жимолости синей бакчарской селекции.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе биотехнологической лаборатории УдмФИЦ УрО РАН согласно «Технологии получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур»[1] [10] и в соответствии с ГОСТ Р 59653–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия». Объектами исследований служили микрочеренки жимолости синей *in vitro* сортов Бакчарского опорного пункта Восторг, Уссульга, Стрежевчанка.

Введение жимолости синей в культуру ткани проведено в последней декаде мая. Для стерилизации использовали 10%-й хлоргексидин в экспозиции 6 мин с последующей 5-кратной промывкой стерильной дистиллированной водой. Микрочеренки культивировались на питательной среде Кворина–Лепорье при освещенности 75–85 мМоль/м$^2$*с$^2$, 6500 К, температуре 22–25 $^0$С, относительной влажности воздуха 70–75 %, фотопериод – 16 ч. В четвертом пассаже пролиферации использовали регуляторы роста цитокининовой природы: 6-бензиламинопурин в концентрации 0,5 мг/л (контроль), зеатин – 5,0 мг/л, аденин – 50 мг/л, 2-изопентиладенин – 5,0 мг/л, тидиазурон – 0,1 мг/л. Далее следовал пассаж элонгации. В следующем за ним этапе укоренения использовали также питательную среду Кворина–Лепорье с половинной дозой макро- и микро солей, ауксины индолил-3-масляную кислоту (ИМК) и индолилуксусную кислоту (ИУК) в концентрациях 0,5 мг/л (контроль), 1,0 мг/л, 1,5 мг/л. Укорененные микрочеренки жимолости синей адаптированы в условиях светокомнаты лаборатории в два этапа: первые три недели – минипарник с субстратом на основе верхового торфа, в последующем – отдельный контейнер объемом 0,3 л с субстратом из смеси верхового и низинного торфа в соотношении 1 : 1. Полученные экспериментальные данные по коэффициенту размножения и укореняемости микрочеренков жимолости синей статистически обработаны по Б.А. Доспехову[3] [11].

[1] Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: метод. указ. / М.Т. Упадышев [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2013. – 91 с.

[2] ГОСТ Р 59653–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия».

[3] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агрон. специальностям. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Независимо от сорта существенному увеличению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем до 6,5 шт./эксплант, или в 1,7 раза, способствовало использование тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л при 3,9 шт./эксплант в контрольном варианте и $НСР_{05}$ 1,2 шт./эксплант (табл. 1). Использование зеатина и 2-изопентиладенина в концентрациях 5,0 мг/л способствовало незначительному увеличению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем до 4,4 и 4,7 шт./эксплант соответственно. К достоверному снижению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей в среднем до 2,6 шт./эксплант, или в 1,5 раза, привело использование аденина в концентрации 50 мг/л.

Коэффициент размножения жимолости синей *in vitro* имел существенные различия по сортам. Независимо от регуляторов роста значительно активнее пролиферировали микрочеренки жимолости сорта Стрежевчанка: коэффициент размножения в среднем составил 6,1 шт./эксплант, что на 3,5 шт./эксплант, или в 2,3 раза выше, чем у сорта Восторг, и на 1,6 шт./эксплант, или в 1,4 раза больше, чем у сорта Уссульга, при $НСР_{05}$ 1,0 шт./эксплант. Самый высокий коэффициент размножения получен у микрочеренков жимолости сорта Стрежевчанка при использовании тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л и составил 10,5 шт./эксплант.

*Таблица 1*

**Коэффициент размножения жимолости синей *in vitro* в зависимости от регуляторов роста и сорта, шт./эксплант**

**The multiplication coefficient of blue honeysuckle *in vitro* depending on growth regulators and variety, pcs./explant**

| Регулятор роста (В) | Сорт (А) | | | Среднее по фактору В |
|---|---|---|---|---|
| | Восторг | Уссульга | Стрежевчанка | |
| QL + 6-БАП 1,0 мг/л (контроль) | 2,8 | 3,8 | 5,0 | 3,9 |
| QL + зеатин 5,0 мг/л | 2,6 | 5,0 | 5,5 | 4,4 |
| QL + аденин 50 мг/л | 1,4 | 2,4 | 4,0 | 2,6 |
| QL + 2-изопентиладенин 5,0 мг/л | 2.8 | 5,7 | 5,6 | 4,7 |
| QL + тидиазурон 0,1 мг/л | 3,3 | 5,6 | 10,5 | 6,5 |
| Среднее по фактору А | 2,6 | 4,5 | 6.1 | |
| $НСР_{05}$ частных различий – 2,2<br>$НСР_{05}$ по фактору А – 1,0<br>$НСР_{05}$ по фактору В – 1,2 | | | | |

Независимо от сорта существенному увеличению укореняемости микрочеренков жимолости синей в среднем до 67,7 и 74,2 % способствовало использование ИМК в концентрациях 1,0 и 1,5 мг/л соответственно при 54,8 % в контрольном варианте и $НСР_{05}$ 7,5 % (табл. 2). Использование ИУК в концентрации 1,5 мг/л также привело к значительному увеличению укореняемости микрочеренков жимолости в среднем до 62,3 %. Укореняемость микрочеренков жимолости при концентрациях ИУК 0,5 и 1,0 мг/л составила 51,6 и 61,3 % соответственно, что несущественно отличается от показателя в контрольном варианте.

Независимо от концентрации ауксинов корнеобразование значительно активнее проходило у микрочеренков жимолости сорта Уссульга: укореняемость в среднем составила 67,2 %, что на 9,7 % больше, чем у сорта Стрежевчанка, и на 5,9 % выше, чем у сорта Восторг, при $НСР_{05}$ 5,3 %. Самая высокая укореняемость получена у микрочеренков жимолости сорта Уссульга при концентрации ИМК 1,5 мг/л и составила 83,9 %.

*Таблица 2*

**Укореняемость микрочеренков жимолости синей *in vitro* в зависимости от концентрации ауксина и сорта, %**
**Rooting of blue honeysuckle microcuttings *in vitro* depending on auxin concentration and variety, %**

| Регулятор роста (В) | Сорт (А) | | | Среднее по фактору В |
|---|---|---|---|---|
| | Восторг | Уссульга | Стрежевчанка | |
| ½ QL + ИМК 0,5 мг/л (контроль) | 51,6 | 58,1 | 54,8 | 54,8 |
| ½ QL + ИМК 1,0 мг/л | 67,7 | 74,2 | 61,3 | 67,7 |
| ½ QL + ИМК 1,5 мг/л | 74,2 | 83,9 | 64,5 | 74,2 |
| ½ QL + ИУК 0,5 мг/л | 48,4 | 54,8 | 51,6 | 51,6 |
| ½ QL + ИУК 1,0 мг/л | 61,3 | 64,5 | 58,1 | 61,3 |
| ½ QL + ИУК 1,5 мг/л | 64,5 | 67,7 | 54,8 | 62,3 |
| Среднее по фактору А | 61,3 | 67,2 | 57,5 | |
| $НСР_{05}$ частных различий – 10,6<br>$НСР_{05}$ по фактору А – 5,3<br>$НСР_{05}$ по фактору В – 7,5 | | | | |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявлено, что на коэффициент размножения микрочеренков жимолости синей *in vitro* оказало влияние как использование различных регуляторов роста, так и сортовые особенности.

В сравнении с контролем (6-БАП 1,0 мг/л) существенному увеличению коэффициента размножения микрочеренков всех сортов жимолости синей *in vitro* в среднем в 1,7 раза способствовало использование тидиазурона в концентрации 0,1 г/л. Отмечено достоверное снижение коэффициента размножения микрочеренков всех сортов жимолости синей в среднем в 1,5 раза при использовании аденина в концентрации 50 мг/л. Использование зеатина и 2-изопентиладенина в концентрациях 5,0 мг/л способствовало незначительному увеличению коэффициента размножения микрочеренков жимолости синей. Независимо от регуляторов роста значительно активнее пролиферировали микрочеренки жимолости сорта Стрежевчанка со средним коэффициентом размножения 6,1 шт./эксплант, что в 2,3 и в 1,4 раза выше, чем у сортов Восторг и Уссульга соответственно.

На укореняемость микрочеренков жимолости синей *in vitro* также оказали влияние как концентрация ауксинов, так и сортовые особенности культуры.

В сравнении с контролем (ИМК 0,5 мг/л), значительному увеличению укореняемости микрочеренков жимолости синей в среднем способствовало использование ИМК в концентрациях 1,0 и 1,5 мг/л, а также ИУК в концентрации 1,5 мг/л. Укореняемость микрочеренков жимолости при концентрациях ИУК 0,5 и 1,0 мг/л несущественно отличается от показателей контрольного варианта. Корнеобразование значительно активнее проходило у микрочеренков жимолости сорта Уссульга и составило в среднем 67,2 % при максимальном значении 83,9 % в варианте с концентрацией ИМК 1,5 мг/л.

## ВЫВОДЫ

1. Коэффициент размножения микрочеренков всех сортов жимолости синей *in vitro* существенно увеличился в среднем в 1,7 раза при использовании тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л. Добавление в питательную среду зеатина и 2-изопентиладенина в концентрациях 5,0 мг/л способствовало незначительному увеличению коэффициента размножения, а применение аденина в концентрации 50 мг/л привело к достоверному снижению коэффициента размножения микрочеренков всех сортов жимолости синей.

2. Укореняемость микрочеренков жимолости синей значительно увеличилась в среднем при использовании ИМК в концентрациях 1,0 и 1,5 мг/л, а также ИУК в концентрации 1,5 мг/л.

3. Независимо от регуляторов роста значительно активнее пролиферировали микрочеренки жимолости сорта Стрежевчанка со средним коэффициентом размножения 6,1 шт./эксплант, а корнеобразование значительно активнее проходило у микрочеренков жимолости сорта Уссульга и составило в среднем 67,2 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Бопп В.Л., Барыкина Г.М.* Сортоизучение жимолости в условиях Красноярского края // Селекция и сортоизучение плодовых и ягодных культур: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Кинель, 2025. – С. 27–35.
2. *Гасымов М.О., Чистякова Л.А., Хлопин В.А.* Сортимент жимолости для Уральского региона // Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. 5-й науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Челябинск, 2023. – С. 81–90.
3. *Влияние* макро- и микроэлементного состава питательной среды на активность морфогенеза некоторых сортов жимолости / Д.Н. Зонтиков, С.А. Зонтикова, К.В. Малахова [и др.] // Агрохимия. – 2022. – № 5. – С. 64–70. – DOI: 10.31857/S0002188122050131.
4. *Колбанова Е.В.* Клональное микроразмножение белорусских сортов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica*) // Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Сер. аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 1. – С. 34–47. – DOI: 10.29235/1817-7204-2023-61-1-34-47.
5. *Колбанова Е.В*. Влияние фитогормонов в составе питательной среды на пролиферацию у растений–регенерантов сортов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L. var. *Kamtschatica*) // Известия национальной академии наук Беларуси. Сер. Биологические науки. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 88–97.
6. *Колбанова Е.В.* Ризогенез in vitro растений–регенерантов сортов жимолости синей (lonicera caerulea l. Var. Kamtschatica) // Плодоводство: сб. науч. тр. – Минск, 2020. – Т. 32. – С. 146–153.
7. *Ладыженская О.В., Симахин М.В., Пашутин В.Р.* Сравнение современных сортов жимолости съедобной (*Lonicera edulis turcz.)* Бакчарской селекции в условиях Московской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 6. – С. 57–63.
8. *Маркова М.Г.*, *Сомова Е.Н.* Клональное микроразмножение ягодных культур: монография. – Ижевск, 2020. – 102 с.
9. *Маркова М.Г., Сомова Е.Н.* Совершенствование клонального микроразмножения ягодных культур // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 1 (61). – С. 39–44. – DOI: 10.12737/2073-0462-2021-39-44.
10. *Орлова Н.Д., Раева-Богословская Е.Н., Молканова О.И.* Совершенствование методики клонального микроразмножения перспективных сортов Lonicera Caerulea L. // Лесной вестник. Forestry bulletin. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 85–92. – DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-85-92.
11. Показатель Доктрины продбезопасности по плодам в России в 2027 году – ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/12007149 (дата обращения: 11.08.2021).
12. *Софронов А.П., Фирсова С.В., Головунин В.П.* Жимолость синяя (Lonicera caeruleae L.): технология и селекция: монография. – Киров, 2021. – 64 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fanc-sv.ru//uploads/docs/2021/Жимолость синяя-2021.pdf (дата обращения: 01.04.2025).
13. *Сучкова С.А., Абзалтденов Г.З., Кокина Г.С.* Подбор оптимальных концентраций регуляторов роста при клональном микроразмножении жимолости синей // Вестник Алтайского государственного университета. – 2022. – № 9 (215). – С. 24–30. – DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-24-30.
14. *Ключевые* вопросы биотехнологии в размножении и оздоровлении садовых культур / И.И. Супрун, М.А. Винтер, Е.В. Лободин [и др.] // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2021. – № 71 (5). – С. 96–115.
15. *Филлипова А.С., Жаркова С.В.* Стимулятор роста как элемент технологии при размножении жимолости синей // Разнообразие и устойчивое развитие агробиоценозов Омского Прииртышья: мат-лы Всерос. (национальной) конф., посвящ. 95-летию ботанического сада Омского ГАУ. – Омск, 2022. – С. 149–152.


## REFERENCES


1. Bopp V.L., Bary`kina G.M., *Selekciya i sortoizuchenie plodovy`x i yagodny`x kul`tur* (Selection and variety study of fruit and berry crops), Proceedings of the Conference Title, Kinel', 2025, pp. 27–35. (In Russ.)
2. Gasy`mov M.O., Chistyakova L.A., Xlopin V.A., *Aktual`ny`e voprosy` sadovodstva i kartofelevodstva* (Current issues of gardening and potato growing), Proceedings of the Conference Title, Chelyabinsk, 2023, pp. 81–90. (In Russ.)
3. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malaxova K.V., Taxistova A.A., Berezina O.O., *Agroximiya*, 2022, No. 5, pp. 64–70. – DOI: 10.31857/S0002188122050131. (In Russ.)
4. Kolbanova E.V., *Vesczi nacyyanal`naj akade`mii navuk belarusi. Sery`ya agrarny`x navuk*, 2023, Vol. 61, No. 1, pp. 34–47, DOI: 10.29235/1817-7204-2023-61-1-34-47. (In Belarus)
5. Kolbanova E.V., *Izvestiya nacional`noj akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskix nauk*, 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 88–97. (In Belarus)
6. Kolbanova E.V., *Plodovodstvo*, Collection of scientific papers, Minsk, 2020, Vol. 32, pp. 146–153. (In Belarus)
7. Lady`zhenskaya O.V., Simaxin M.V., Pashutin V.R., *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii*, 2023, pp. 57–63. (In Russ.)

8. Markova M.G., Somova E.N., *Klonal'noe mikrorazmnozhenie yagodnykh kul'tur* (Clonal micropropagation of berry crops), Izhevsk, 2020, 102 p. (In Russ.)
9. Markova M.G., Somova E.N., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, Vol. 16, No. (61), pp. 39–44, DOI: 10.12737/2073-0462-2021-39-44. (In Russ.)
10. Orlova N.D., Raeva-Bogoslovskaya E.N., Molkanova O.I., *Lesnoj vestnik. Forestry bulletin*, 2022, Vol. 26, No. 3, pp. 85–92, DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-85-92. (In Russ.)
11. *Pokazatel` Doktriny` prodbezopasnosti po plodam v Rossii v 2027 godu – TASS* (The Food Safety Doctrine indicator for fruits in Russia in 2027 – TASS): https://tass.ru/ekonomika/12007149. (In Russ.)
12. Sofronov A.P., Firsova S.V., Golovunin V.P., *Zhimolost' sinyaya (Lonicera caeruleae L.): tekhnologiya i selektsiya* (Blue honeysuckle (Lonicera caeruleae L.): technology and selection), Kirov, 2021, 64 p.: http://fanc-sv.ru//uploads/docs/2021/Zhimolost` sinyaya-2021.pdf. (In Russ.)
13. Suchkova S.A., Abzaltdenov G.Z., Kokina G.S., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No. 9 (215), pp. 24–30, DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-24-30. (In Russ.)
14. Suprun I.I., Vinter M.A., Lobodin E.V., Al`-Nakib E.A., Avakimyan A.O., Fedorovich S.V., *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*, 2121, No. 71 (5), pp. 96–115. (In Russ.)
15. Fillipova A.S., Zharkova S.V., *Raznoobrazie i ustoychivoe razvitie agrobiotsenozov Omskogo Priirtysh'ya* (Diversity and sustainable development of agrobiocenoses of the Omsk Irtysh region), Proceedings of the Conference Title, Omsk, 2022, pp. 149–152. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*Е.Н. Сомова,* старший научный сотрудник
*М.Г. Маркова,* научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*E.N. Somova,* senior researcher
*M.G. Markova,* research

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-205-212
УДК 632.9

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ВРЕДИТЕЛЯМИ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА В ЦСБС СО РАН

**[1]М.А. Томошевич, [2]И.Г. Воробьева, [1]И.Г. Потешкин, [1]Е.В. Банаев**

*[1]Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*

*[2]Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** arysa9@mail.ru

**Для цитирования:** *Опыт* применения пестицидов для борьбы с вредителями защищенного грунта в ЦСБС СО РАН / М.А. Томошевич, И.Г. Воробьева, И.Г. Потешкин, Е.В. Банаев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 205–212. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-205-212.

**Ключевые слова***:* оранжереи, фитофаги, оранжерейная белокрылка, трипс западный, трипс оранжерейный, инсектициды, баковые смеси, химическая защита.

**Реферат.** *Представлены результаты применения пестицидов разного спектра действия против основных вредителей защищенного грунта в крупном оранжерейном комплексе Центрального сибирского ботанического сада РАН: оранжерейной белокрылки и трипсов. Установлено, что эффективность обработки препаратами Клипер, КЭ, Танрек, ВРК, Мовенто-Энерджи, КС и Апплауд, СП против белокрылки составила 50–70 %, а инсектицида Актара, ВДГ против трипсов – 80 %. Использование баковых смесей стабильно ограничивает численность фитофагов ниже экономического порога вредоносности. Наибольшую эффективность против белокрылки показала трехкратная обработка баковыми смесями, состоящими из чередующихся препаратов Пленум, ВДГ, Адмирал, КЭ, Моспилан, РП, Талстар, КЭ с интервалом 16 дней. Включение Веримарка, КС в баковые смеси позволило получить 100%-ю эффективность против трипсов. Для предотвращения массовых вспышек численности основных оранжерейных вредителей, которые, как правило, требуют применения сложных баковых смесей, состоящих из дорогостоящих препаратов, необходимо поддерживать систему профилактических мер, включающую комплекс мероприятий (агротехнические, карантинные и др.), рекомендованных для тепличных помещений. При планировании защитных мероприятий необходимо учитывать биологию тепличной белокрылки и различных видов трипсов. Актуальной в условиях Сибири является профилактическая химическая обработка против вредителей в осенний период, когда происходит герметизация теплиц на зимний период. Это позволит избежать нарастания численности фитофагов в зимний и весенний периоды и снизить количество химических обработок.*

# EXPERIENCE OF USING PESTICIDES TO CONTROL PROTECTED SOIL PESTS IN THE CSBG SB RAS (NOVOSIBIRSK)

**[1]M.A. Tomoshevich, [2]I.G. Vorobyova, [1]I.G. Poteshkin, [1]E.V. Banaev**

*[1]Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia*

*[2]Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** arysa9@mail.ru

**Keywords***:* greenhouses, phytophages, greenhouse whitefly, western thrips, greenhouse thrips, insecticides, tank mixtures, chemical protection.

**Abstract**. *The article presents the results of application of pesticides with different spectrum of action against the main pests of protected soil - greenhouse whitefly and thrips in a large greenhouse complex of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. It was found that the efficiency of treatment with the preparations Clipper, KE, Tanrek, VRK, Movento-Energy, KS and Applaud, SP against whitefly was 50-70%, and the insecticide Aktara, VDG against thrips - 80%. The use of tank mixtures stably limits the number of phytophages below the EPT. The greatest efficiency against whitefly was shown by triple treatment with tank mixtures consisting of alternating preparations Plenum, VDG, Admiral, KE, Mospilan, RP, Talstar, KE with an interval of 16 days. The inclusion of Verimark, KS in tank mixtures made it possible to obtain 100% efficiency against thrips. To prevent outbreaks of the main greenhouse pests, which, as a rule, require the use of complex tank mixtures consisting of expensive preparations, it is necessary to maintain a system of preventive*

*measures, including a set of measures (agrotechnical, quarantine, etc.) recommended for greenhouse premises. When planning protective measures, it is necessary to take into account the biology of greenhouse whitefly and various types of thrips. Preventive chemical treatment against pests in the autumn, when greenhouses are sealed for the winter, is relevant in Siberian conditions. This will prevent an increase in the number of phytophages in the winter and spring and reduce the number of chemical treatments.*

Важнейшим условием устойчивого социально-экономического развития страны и регионов является повышение эффективности использования ресурсов наземных экосистем, обеспечивающих потребности населения Российской Федерации. В этой связи особое значение приобретают биоресурсные коллекции, используемые для фундаментальных и прикладных исследований в различных биологических науках, междисциплинарных проектах и образовании. Живые коллекции природной и культурной флор являются уникальным генофондом для лесного и сельского хозяйства, медицины, зеленого строительства, ландшафтной архитектуры, биоэнергетики, биотехнологии, базой для обеспечения биобезопасности страны. В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН) биоресурсные коллекции, сохраняемые в защищенном грунте, являются составной частью уникальной научной установки USU_440534 «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте». Защищенный грунт включает в себя 15 оранжерей общей площадью 6496,7 кв.м, на которой размещается коллекция тропических и субтропических растений (более 8000 таксонов) различных географических областей и коллекций овощных, цветочных и древесных растений.

Одной из проблем сохранения уникального генофонда в условиях закрытого грунта Сибири является эпифитотийное развитие насекомых-вредителей. Наиболее опасными фитофагами в оранжереях ЦСБС СО РАН являются тепличная белокрылка (*Trialeurodes vaporariorum* Westw.) и трипсы, в частности трипс западный (калифорнийский) (Frankliniella occidentalis Perg.) и трипс оранжерейный, или табачный (*Heliothrips haemorrhoidalis Bouch.* (*Thrips tabatci* Lind.).

Тепличная (оранжерейная) белокрылка, являясь тропическим видом, относится к числу широко распространенных вредителей-полифагов. В условиях Сибири фитофаг в основном вредит в защищенном грунте в посадках овощных и цветочно-декоративных культур. Жизненный цикл насекомого состоит из семи стадий развития: яйцо, личинка (1, 2, 3 и 4-го возрастов), нимфа и имаго. По пищевой специализации вредитель является широким полифагом. В теплицах белокрылка встречается почти повсеместно, развивается в течение всего года, давая 10–15 поколений, особенно многочисленна во второй половине лета и в начале осени. На поврежденных листьях появляются желтоватые пятна, которые постепенно увеличиваются в размере, и листья увядают. Степень ее вредоносности на разных культурах зависит от плотности популяций, а также интенсивности выделения ее личинками липкой сахаристой жидкости, в зависимости от повреждаемого таксона, что является одной из причин неодинакового экономического порога вредоносности фитофага на различных культурах, который варьирует в пределах 10–40 особей/лист. С наступлением нового сезона самки откладывают яйца на нижнюю сторону листьев группами по 10–20 экз., размещая их кольцом. Отродившиеся личинки присасываются к листьям. После двух линек личинки превращаются в нимфы, а последние – во взрослых насекомых. Одна самка за 25–30 дней жизни откладывает в среднем 130 яиц [1–3].

Согласно данным литературы, продолжительность жизненного цикла фитофага при температуре +24 °С на растениях огурца может составлять 27 дней, в посадках томата – 28 дней. Полное развитие от яйца до имаго в диапазоне микроклиматических параметров в теплице от +17 до +27 °С может проходить в течение 27–43 дней. Оптимальными условиями для вредителя являются температура воздуха +22…+26 °С и относительная влажность 60–75 % [4].

Западный цветочный и оранжерейный трипсы являются одними из наиболее опасных вредителей овощных, декоративных и цветочных растений. Жизненный цикл трипсов включает семь стадий развития: яйцо, личинка (1, 2, 3 и 4-го возрастов), нимфа и имаго. Продолжительность жизненного цикла зависит от температуры: взрослые особи живут 2–5 недель, а стадия нимфы длится 5–20 дней. Каждая самка может отложить 40–200 яиц в тканях растения, часто в цветке [5]. Экономический порог вредоносности (ЭПВ) западного трипса составляет 10–15 особей/лист; табачного трипса – 10–40 особей/лист в зависимости от культуры [6].

Оранжерейная белокрылка и трипсы обладают признаками типичных *r*-стратегов: высокой плодовитостью, ускоренным темпом развития,

адаптивной способностью к освоению пространства, высокой зависимостью от абиотических факторов окружающей среды, особенно в фазу личинок. Размер трофической ниши вредящей фазы (личинки, имаго) довольно широкий во времени и в пространстве, а вредоносность популяции очень высокая (катастрофическая). Тип динамики численности популяций в течение сезона – поливольтинный, многолетней – устойчивый (особенность для закрытого грунта) [1, 6].

Имеются данные, что за последние 30 лет практически у всех основных фитофагов растений защищенного грунта в различных регионах сформировались устойчивые популяции к фосфорорганическим, пиретроидным и некоторым другим препаратам. Потеря чувствительности может быть достаточно быстрой: через год после начала применения токсиканта. В связи с этим основой системы борьбы с резистентными популяциями комплексов вредных видов является рациональное сочетание химического, микробиологического и биологического методов с максимальным ограничением использования фосфорорганических и пиретроидных препаратов [7–9, 10, 11], а также использование баковых смесей современных препаратов [12].

Цель работы – анализ эффективности применения современных химических препаратов и их смесей против белокрылки и трипсов в крупных оранжерейных комплексах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводили в 2016–2025 гг. в оранжерейном комплексе ЦСБС СО РАН. Объектом исследования являлись насекомые-вредители защищенного грунта (оранжерейная белокрылка, трипсы) и тропические и субтропические растения коллекции, включающей 198 семейств, 1123 родов, 8485 видов, подвидов, сортов и гибридов.

Для борьбы с фитофагами использовались следующие препараты: Адмирал, КЭ; Актара, ВДГ; Апплауд, СП; Веримарк, КС; Гамаир, КС; Клипер, КЭ; Конфидор, ВДГ; Лирум, СК; МатринБио, ВР; Мовенто-Энерджи, КС; Моспилан, РП; Пленум, ВДГ; Спинтор 240, СК; Талстар, КЭ; Танрек, ВРК. Препарат Гамаир, биологический бактерицид, применяемый от комплекса бактериальных и грибных болезней, был использован в профилактических целях. Во все баковые смеси был включен препарат Адмирал.

Все испытанные препараты входят в государственный каталог пестицидов [13] и допущены для использования в условиях защищенного грунта. Обработки растений проводились как одним препаратом, так и баковыми смесями методом мелкокапельного опрыскивания с помощью ручных опрыскивателей и ОЗГ–120. При обработке одним пестицидом кратность составляла 2, баковыми смесями – 3.

При обработке растений в зимний период в оранжереях поддерживали температуру 18–20 $^0$C. В теплицах с холодным режимом содержания растений (+5–10 $^0$C) температуру доводили до 18–20 $^0$C за 24 ч до начала обработки и снижали через 24 ч после.

Определение биологической эффективности и учеты численности трипсов (имаго и личинки) и тепличной белокрылки (имаго, личинки 3-го и 4-го возраста) проводили в соответствии с методическими рекомендациями, по биологической оценке инсектоакарицидов на цветочных культурах защищенного грунта [14]. Для подсчета личинок и имаго тепличной белокрылки брали по два листа с трех побегов из нижнего, среднего и верхнего ярусов пяти растений. При учете имаго листья просматривали непосредственно в теплице. При учете личинок листья просматривали с помощью 7–10-кратной лупы непосредственно на растениях либо под бинокуляром [15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ЦСБС СО РАН в 2016–2018 гг. проведена реконструкция оранжерейного комплекса с переносом коллекционного фонда на большие площади. Вся коллекция тропических и субтропических растений размещена в семи теплицах, которые соединены между собой одним проходом. В этот период локальные очаги вредителей подавляли обработками одним (Клипер, Танрек, Мовенто-Энерджи, Актара, Лирум и МатринБио) или смесью из двух пестицидов (Клипер и Апплауд). Эффективность обработок варьировала от 10–30 до 80 %. Наилучший результат против белокрылки с эффективностью 50–70 % был достигнут при обработке препаратами Клипер, Танрек, Мовенто-Энерджи и баковой смесью Клипер и Апплауд. Низкую эффективность (10–30 %) проявили пестициды Лирум и МатринБио. Против трипсов лучшим оказался инсектицид Актара с эффективностью 80 %.

В конце ноября 2019 г. было отмечено эпифитотийное нарастание численности тепличной

белокрылки выше порога вредоносности. На отдельных растениях фиксировалось 100–150 имаго на лист. Наиболее пораженными оказались виды растений из родов *Duranta* L. *Fuchsia* L., *Buddleja* L. *(Nicoidemia)*, *Lantana* L., *Myrtus* L., *Ficus carica* L., *Punica granatum* L., *Alstroemeria* L., *Osteospermum* L., *Verbena* L. В декабре 2019 г. – январе 2020 г. была проведена трехкратная обработка баковыми смесями инсектицидов всего тепличного комплекса с интервалом 16 дней (табл.1).

*Таблица 1*

**Баковые смеси пестицидов и их эффективность против фитофагов в 2019–2020 гг.**
**Tank mixes of pesticides and their effectiveness against phytophages in 2019–2020**

| Дата обработки | Баковая смесь/препараты (действующее вещество) | Концентрация препаратов в рабочей жидкости, % | Эффективность обработки, % | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Тепличная белокрылка | Трипсы |
| 24.12.2019 | Пленум (пиметрозин) | 0,15 | 65 | 40 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,1 | | |
| | Гамаир | 0,06 | | |
| 10.01.2020 | Талстар (бифентрин) | 0,2 | 80 | 60 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,1 | | |
| | Гамаир | 0,06 | | |
| 17.01.2020 | Моспилан | 0,2 | 100 | 70 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,1 | | |
| | Гамаир | 0,06 | | |

*Примечание*. Показана накопительная (суммарная) эффективность обработки.

Эффективность проведенных защитных мероприятий после трех обработок для тепличной белокрылки составила 100 %, против трипсов – 70 %.

В ходе фитосанитарного мониторинга в течение 2021–2022 гг. численность вредителя не превышала ЭПВ, отмечались лишь единичные особи. В осенний период 2022–2023 гг. вновь начали появляться очаги насекомого, которые при превышении ЭПВ точечно обрабатывались двукратно отдельными пестицидами (Конфидор, Мовенто-Энерджи, Пленум). В конце ноября 2024 г. была зафиксирована новая массовая вспышка численности белокрылки, в связи с чем была применена измененная схема баковых смесей пестицидов, включающая трехкратную обработку с интервалом 7 и 14 дней (табл. 2).

*Таблица 2*

**Баковые смеси пестицидов и их эффективность против фитофагов в 2024 г.**
**Tank mixtures of pesticides and their effectiveness against phytophages in 2024**

| Дата обработки | Баковая смесь/препараты | Концентрация препаратов в рабочей жидкости, % | Эффективность обработки, % | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Тепличная белокрылка | Трипсы |
| 07.12.2024 | Пленум (пиметрозин) | 0,15 | 60 | 70–75 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,05 | | |
| | Спинтор 240 (спиносад) | 0,05 | | |
| 13.12.2024 | Клипер (бифентрин) | 0,06 | 70 | 80–90 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,05 | | |
| | Спинтор 240, (спиносад) | 0,05 | | |
| | Апплауд (Бупрофезин) | 0,05 | | |
| 28.12.2024 | Веримарк (Циантранилипрол) | 0,02 | 90 | 100 |
| | Адмирал (пирипроксифен) | 0,1 | | |
| | Апплауд (Бупрофезин) | 0,05 | | |

*Примечание*. Показана накопительная (суммарная) эффективность обработки.

Эффективность баковых смесей пестицидов против белокрылки составила 90 %, против трипса – 100 %. Полученный эффект обработки против трипсов оказался весьма результативным и неожиданным, поскольку борьба с западным трипсом как карантинным объектом в оранжерейном комплексе ЦСБС СО РАН ведется длительное время на регулярной основе. Подобная эффективность при применении профилактических и уничтожающих обработок препаратами Актара, Конфидор, Мовенто-Энерджи и баковой смесью Спинтор 240 и Апплауд не достигалась ни разу.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Высокая эффективность трехкратной обработки баковыми смесями пестицидов против белокрылки в 2019–2020 гг. была достигнута благодаря последовательному применению оптимальных по механизму и спектру действия сочетаний препаратов. Первая обработка препаратами Пленум и Адмирал, которые ранее в ЦСБС СО РАН не применялись, была направлена, прежде всего, на сокращение численности белокрылки и вызвала гибель большей части имаго. Пестицид Пленум, проникая в ткани растения, блокировал питание насекомого уже через 15–20 мин и вызывал быструю гибель вредителя. Препарат Адмирал, как синтетический аналог ювенильного гормона, вызывал нарушение метаморфоза яиц и личинок белокрылки, а у имаго – стерилизацию, в результате чего не происходило размножения и распространения вредителя. Существуют сведения, что к данному ювеноиду белокрылка еще не выработала резистентность и сохраняет восприимчивость [8]. Высокая эффективность препарата Адмирал против других фитофагов защищенного грунта в периоды их эмбрионального развития и перед вступлением в метаморфоз отмечается и другими авторами [16–18].

Последующие интервальные обработки с использованием препарата Талстар во второй баковой смеси и Моспилана – в третьей обеспечили полную гибель популяции белокрылки и значительное снижение численности трипсов. К пестициду Талстар контактно-кишечного действия на основе бифентрина восприимчивы все вредители, он не вызывает резистентность и характеризуется пролонгированной эффективностью. Новейший системный инсектицид Моспилан с широким спектром действия при контакте с фитофагом вызывает поражение его нервной системы, и уже через час после опрыскивания вредители становятся неактивными. Полученные нами результаты подтверждают сведения о высокой эффективности неоникотиноидных инсектицидов против белокрылки, к которым вредитель проявляет низкую резистентность [2, 7, 19]. Последовательная трехкратная обработка оранжерей с определенными интервалами, которые обусловлены защитными сроками действия препаратов, позволяет уничтожать тех вредителей, которые не попали под действие первой баковой смеси препаратов и вылупившихся особей после первых обработок. Положительный эффект применения баковых смесей, включающих препараты Адмирал и Моспилан, против белокрылки и трипсов за счет усиления суммарного действия и пролонгации защитного периода подтверждается имеющимися в литературе данными [7, 17–19].

Химические обработки оранжерейных растений баковыми смесями, проведенные в декабре 2024 г., в целом показали аналогичный тренд эффективности. Однако достичь полного уничтожения популяции белокрылки не удалось, в то время как трипсы были уничтожены полностью. Недостаточная эффективность Пленума может быть связана с тем, что он применялся для подавления очагов белокрылки в период с 2022–2024 гг. и мог вызвать формирование резистентности популяции вредителя. Пестицид Клипер по своему действующему веществу является аналогом Талстара. Однако проводимые ранее обработки показали, что Талстар проявляет большую эффективность против ряда вредителей, чем Клипер. Включение в смеси биопестицида Спинтор 240 и двукратная обработка с ним позволили значительно сократить популяцию трипсов. Замена Моспилана Веримарком, новейшим инновационным системным инсектицидом, снизила эффективность смеси против белокрылки, но обеспечила 100%-ю гибель популяций трипсов.

В условиях защищенного грунта вредители имеют благоприятные условия для своего развития, и нарастание численности фитофагов может происходить очень быстро, в течение 1–2 недели. Для предотвращения эпифитотийного развития фитофагов с применением сложных баковых смесей из дорогостоящих препаратов экономически выгоднее проводить профилактические мероприятия, которые направлены если не на полное уничтожение вредителей, то на сдерживание их численности в пределах ЭПВ. Это в первую очередь система агротехнических, физических (клеевые ловушки) и карантинных мероприятий, рекомендованных для тепличных помещений, с учетом биологии развития фитофагов в защищенном

грунте, которая до сих пор остается актуальной [20]. Наиболее благоприятные сроки проведения профилактических химических обработок против белокрылки – осенний период, когда выпадает первый снег и проводится герметизация окон и дверей тепличных помещений. В этот период рекомендуется провести двукратную, с интервалом 7–14 дней, профилактическую обработку для уничтожения залетевших имаго с улицы, что позволит сдерживать численность насекомых ниже ЭПВ в течение всего зимнего периода.

## ВЫВОДЫ

1. Разовые обработки препаратами в рекомендуемых концентрациях не способны длительно и эффективно подавлять разновозрастную популяцию основных фитофагов защищенного грунта.

2. Использование ювеноида Адмирал в баковых смесях пестицидов показывает выраженный пролонгированный эффект против белокрылки.

3. Последовательное применение смесей, включающих препараты Спинтор 240 и Веримарк, значительно сокращает популяцию трипсов.

4. Применение баковых смесей, состоящих из разрешенных препаратов с разным механизмом действия, обеспечивает эффективный контроль разновозрастной популяции оранжерейной белокрылки и трипсов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Интегрированная* защита растений: фитосанитарная оптимизация агроэкосистем (термины и определения): учебное пособие / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов [и др.]. – М.: Колос, 2010. – 482 с.
2. *Нуралиева Д.С.* Видовой состав, вредоносность и способы защиты от сосущих вредителей в теплице // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS). – 2022. – Vol. 2. I.10. – P. 406–410.
3. *Балтаев Б.С.* Многоядные сосущие насекомые и клещи – вредители овощных и бахчевых культур открытого и закрытого грунта в Узбекистане // Бюллетень науки и практики. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 153–158.
4. *Белякова О.А., Колесова Е.А., Шестиперов А.А.* Механизм сохранения и распространения белокрылки оранжерейной Trialeurodes vaporariorum // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2016. – № 17. – С. 49–53.
5. *Ижевский С.С.* Западный цветочный трипс: возможное решение проблемы // Гавриш. – 2006. – № 1. – С. 28–32.
6. *Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я.* Интегрированная защита растений, фитосанитарные системы и технологии / под ред. М.С. Соколова, В.А. Чулкиной. – М.: Колос, 2009. – 670 с.
7. *Ходжаев Ш.Т., Хакимов М.* Чувствительность сосущих вредителей и энкарзии к пестицидам в теплицах Узбекистана // Вестник защиты растений. – 2001. – № 1. – С. 71–73.
8. *Скорость* формирования резистентности и ее реверсии в популяциях вредителей тепличных культур / Г.П. Иванова, В.С. Великань, В.Г. Корнилов, Н.Л. Маммаева // Вестник защиты растений. – 2002. – № 1. – С. 15–21.
9. *Особенности* развития резистентности к пестицидам у белокрылки / И.Н. Яковлева, Ю.И. Мешков, Н.Н. Солобукина, Т.Н. Горбань // Теплицы России. – 2013. – № 4. – С. 63–69.
10. *Захаренко В.А.* Использование пестицидов в аграрном секторе России в контексте развития глобальных рынков средств защиты растений // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 43–48.
11. *Fumigant* effect of essential oils on mortality and fertility of thrips Frankliniella occidentalis Perg / E. Stepanycheva, M. Petrova, T. Chermenskaya [et al.] // Environ Sci Pollut Res. – 2019. – Vol 26. – P. 30885–30892.
12. *Санин С.С.* Проблемы фитосанитарии России на современном этапе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 6. – С. 45–55.
13. *Государственный* каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (издание официальное от 09.02.2024). URL: // https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity- rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i- agrokhimikatov/ (дата обращения: 01.07.2025).
14. *Методические* указания по испытанию инсектицидов, акарицидов и моллюскоцидов в растениеводстве / К.В. Новожилов, А.А. Смирнова, К.Н. Савченко [и др.]. – М., 1986. – 279 с.
15. *Долженко Т.В., Макаренко В.И., Буркова Л.А.* Методические аспекты биологической оценки инсектоакарицидов на цветочных культурах защищенного грунта // Овощи России. – 2019. – № 6. – С. 105–108.
16. *Агапов А.И., Шакина Т.И.* Система мероприятий по защите оранжерейных растений от вредителей // Научные труды Чебоксарского филиала главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. – 2020. – № 15. – С. 188–191.
17. *Ковалев Н.И., Цицилин А.Н.* Защита лекарственных растений в условиях оранжерейно-тепличного комплекса ВИЛАР // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2022. – № 145. – С. 169–177.
18. *Марущак В.Н., Дорофеева Л.М., Максимов С.А.* Опыт борьбы с тепличной белокрылкой на цветочных культурах защищенного грунта // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 8 (166). – С. 87–89.

19. *Химическая* защита растений в фитосанитарном оздоровлении агроэкосистем / В.И. Долженко, К.В. Новожилов, Г.И. Сухорученко, С.Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2011. – № 3. – С. 3–12.
20. *Van Renter en J.C., Nicot P.C.* Integrated Pest Management Methods and Considerations Concerning Implementation in Greenhouses // Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops. Plant Pathology in the 21st Century. – 2020. – Vol. 9. – P. 177–193.

## REFERENCES

1. CHulkina V.A., Toropova E.Yu., Stecov G.Ya. i dr., *Integrirovannaya zashchita rastenij: fitosanitarnaya optimizaciya agroekosistem (terminy i opredeleniya)* (Integrated plant protection: phytosanitary optimization of agroecosystems (terms and definitions)), Moscow: Kolos, 2010, 482 p.
2. Nuralieva D.S., Vidovoj sostav, vredonosnost' i sposoby zashchity ot sosushchih vreditelej v Teplice, *Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS)*, 2022, Vol. 2, I. 10, pp. 406–410.
3. Baltaev B.S., *Byulleten' nauki i praktiki*, 2023, T. 9, No. 4, pp. 153–158. (In Russ.)
4. Belyakova O.A., Kolesova E.A., SHestiperov A.A., *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami*, 2016, No. 17, pp. 49–53. (In Russ.)
5. Izhevskij S.S., *Gavrish*, 2006, No. 1, pp. 28–32. (In Russ.)
6. Chulkina V.A., Toropova E.YU., Stecov G.YA., *Integrirovannaya zashchita rastenij, fitosanitarnye sistemy i tekhnologii* (Integrated plant protection, phytosanitary systems and technologies), Moscow: Kolos, 2009, 670 p.
7. Hodzhaev SH.T., Hakimov M., *Vestnik zashchity rastenij*, 2001, No. 1, pp. 71–73. (In Russ.)
8. Ivanova G.P., Velikan' V.S., Kornilov V.G., Mammaeva N.L., *Vestnik zashchity rastenij*, 2002, No. 1, pp. 15–21. (In Russ.)
9. Yakovleva I.N., Meshkov YU.I., Solobukina N.N., Gorban' T.N., *Teplicy Rossii*, 2013, No. 4, pp. 63–69. (In Russ.)
10. Zaharenko V.A., *Agrohimiya*, 2020, No. 3, pp. 43–48. (In Russ.)
11. Stepanycheva E., Petrova M., Chermenskaya T. et al., Fumigant effect of essential oils on mortality and fertility of thrips Frankliniella occidentalis Perg, *Environ Sci Pollut Res*, 2019, Vol. 26, pp. 30885–30892.
12. Sanin S.S., *Izvestiya TSKHA*, 2016, Vyp. 6, pp. 45–55. (In Russ.)
13. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennyh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii*: https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity- rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i- agrokhimikatov/.
14. Novozhilov K.V., Smirnova A.A., Savchenko K.N., Suhoruchenko G.I., Tolstova YU.S., *Metodicheskie ukazaniya po ispytaniyu insekticidov, akaricidov i mollyuskocidov v rastenievodstve* (Guidelines for testing insecticides, acaricides and molluscicides in plant growing), Moscow, 1986, 279 p.
15. Dolzhenko T.V., Makarenko V.I., Burkova L.A., *Ovoshchi Rossii*, 2019, No. 6, pp. 105–108. (In Russ.)
16. Agapov A.I., SHakina T.I., *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN*, 2020, No. 15, pp. 188–191. (In Russ.)
17. Kovalev N.I., Cicilin A.N., *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2022, No. 145, pp. 169–177. (In Russ.)
18. Marushchak V.N. Dorofeeva L.M., Maksimov S.A., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 8 (166), pp. 87–89. (In Russ.)
19. Dolzhenko V.I., Novozhilov K.V., Suhoruchenko G.I., Tyuterev S.L., *Vestnik zashchity rastenij*, 2011, No. 3, pp. 3–12. (In Russ.)
20. Van Renter en J.C., Nicot P.C., Integrated Pest Management Methods and Considerations Concerning Implementation in Greenhouses, *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops. Plant Pathology in the 21st Century*, 2020, Vol. 9, pp. 177–193.

**Информация об авторах:**
*М.А. Томошевич,* доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории дендрологии ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
*И.Г. Воробьева,* доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии и экологии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет»
*И.Г. Потешкин,* руководитель группы защиты растений ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
*Е.В. Банаев,* доктор биологических наук, заведующий лабораторией дендрологии ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

**Contribution of the authors:**
*M.A. Tomoshevich,* Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Dendrology Laboratory of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

*I.G. Vorobyova,* Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Biology and Ecology of the Novosibirsk State Pedagogical University
*I.G. Poteshkin,* Head of the Plant Protection Group of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
*E.V. Banaev,* Doctor of Biological Sciences, Head of the Dendrology Laboratory of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-213-221
УДК 631.51.01

# ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

**Л.О. Тронина**

*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия*

**E-mail:** ugniish-nauka@yandex.ru

**Для цитирования:** *Тронина Л.О.* Влияние системы обработки на агрофизические свойства почвы и продуктивность культур в звене полевого севооборота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 213–221. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-213-221.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, вспашка, прямой посев, корневая система, плотность почвы, запас продуктивной влаги.

**Реферат.** *Исследования проводили с целью изучения влияния минимализации основной обработки на агрофизические свойства почвы, развитие корневой системы и урожайность культур полевого севооборота. Работу выполняли в 2022–2024 гг. на дерново-подзолистой почве Удмуртской Республики. Варианты опыта: отвальная система основной обработки почвы, комбинированная, прямой посев. Представлены результаты расчетного метода фрактальной геометрии для определения зависимости морфологии корневой системы второй культуры полевого севооборота от системы основной обработки почвы, а также показатели продуктивности агроценоза, полученные традиционными методами прямого их измерения. Суммарная длина корневой системы горчицы белой 152,6 см сформировалась в агроценозе с ежегодной отвальной вспашкой на глубину 20 см. При переходе на комбинированную систему обработки почвы с чередованием вспашки под озимую пшеницу с безотвальным рыхлением на глубину 10–12 см и прямой посев отмечено сокращение длины корней до 93,9 и 73,9 см соответственно. Полученные результаты морфометрии корневой системы горчицы белой подтверждаются прямым измерением массы корней горчицы белой при отборе почвенных образцов из пахотного слоя 0–20 см рамочным способом выемки почвы. Наибольшее накопление корневой массы культуры 0,43 т/га отмечено при ежегодной отвальной вспашке. При сокращении глубины и площади обработки почвы произошло существенное снижение данного показателя до 0,29–0,30 т/га. Реакция корневой системы второй культуры полевого севооборота определяется условиями, сформированными системами основной обработки почвы. Ежегодная вспашка обеспечила лучшее накопление и сохранение продуктивной влаги в метровом слое 103 мм против 85 и 83 мм при минимализации почвообработки. Прямой посев способствовал уплотнению пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы до 1,44 г/см$^3$. В результате наибольшая в опыте урожайность горчицы белой 1,04 т/га получена при отвальной системе основной обработки почвы.*

# INFLUENCE OF TILLAGE SYSTEM ON AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND CROP PRODUCTIVITY IN THE LINK OF FIELD CROP ROTATION

**L.O. Tronina**

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia*

**E-mail:** ugniish-nauka@yandex.ru

**Keywords:** sod-podzolic soil, plowing, direct seeding, root system, soil density, productive moisture reserve.

**Abstract.** *The research was conducted to study the effect of minimization of basic tillage on agrophysical properties of soil, root system development and crop yield of field crop rotation. The work was carried out in 2022–2024 on sod-podzolic soil of the Udmurt Republic. Experimental variants: moldboard tillage system, combined, direct sowing. The results of the calculation method of fractal geometry to determine the dependence of the root system morphology of the second crop of the field rotation on the system of basic tillage and indicators of agrocenosis productivity obtained by traditional methods of direct measurement are presented. The total length of the root system of mustard 152,6 cm was formed in the agrocenosis with annual moldboard plowing to a depth of 20 cm. At transition to a combined tillage system with alternating plowing under winter wheat with no-tillage at a depth of 10–12 cm and direct sowing, a reduction in root length to 93,9 and 73,9 cm was observed, respectively.*

*The obtained results of morphometry of the root system of mustard are confirmed by direct measurement of the root mass of mustard when taking soil samples from the arable layer 0–20 cm by frame method of soil excavation. The highest accumulation of root mass of the crop 0,43 t/ha was observed at annual mouldboard plowing. When reducing the depth and area of tillage, there was a significant decrease in this indicator to 0,29–0,30 t/ha. The response of the root system of the second crop of the field rotation is conditioned by the conditions formed by the main tillage systems. Annual plowing provided better accumulation and preservation of productive moisture in the meter layer 103 mm against 85 and 83 mm at minimization of tillage. Direct sowing contributed to compaction of the arable layer of sod-medium-podzolic medium loamy soil up to 1,44 g/cm$^3$. As a result, the highest yield of mustard 1,04 t/ha was obtained with moldboard system of basic tillage.*

Система основной обработки почвы должна быть направлена на расширенное воспроизводство почвенного плодородия, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, регулирование фитосанитарного состояния посевов и снижение себестоимости растениеводческой продукции. Глубина, интенсивность и кратность механической обработки почвы или прямого посева в конкретном хозяйстве должна быть обоснована почвенно-климатическими условиями региона, рельефом местности, степенью развития эрозии, типом севооборота и т.д.

Дерново-подзолистые почвы Среднего Предуралья, обладающие низким содержанием гумуса (1,5–2,5 %), маломощным гумусовым горизонтом (18–20 см) и имеющие равновесную плотность пахотного слоя 1,4–1,5 г/см$^3$ [1], нуждаются в регулярном рыхлении, внесении органических удобрений, заделке фосфорно-калийных удобрений на оптимальную глубину для создания комфортных условий развития корневой системы сельскохозяйственных культур и получения стабильно высоких урожаев.

Отвальная вспашка придает дерново-подзолистой почве мелкокомковатое структурное состояние и оптимальную для растений плотность, пористость и другие агрофизические показатели, при которых создаются благоприятные для роста и развития растений условия водного, воздушного, пищевого и теплового режимов, активизируется жизнедеятельность целлюлозоразлагающих почвенных организмов. Большая часть семян и вегетативных органов сорняков перемещается при вспашке в глубокие слои и теряет всхожесть, проросшие семена погибают. Глубокое рыхление почвы способствует накоплению влаги атмосферных осадков в корнеобитаемом слое. К.А. Тимирязев отмечал, что глубокая вспашка важна не только как средство для увеличения запасов воды, но и как средство развития корневой системы [2]. Глубина вспашки на дерново-подзолистых почвах ограничивается маломощным гумусовым горизонтом и залегающим ниже неплодородным подзолистым горизонтом, припашка которого значительно снижает уровень плодородия пахотного слоя.

В то же время ежегодная вспашка приводит к уменьшению содержания органического вещества, увеличению непроизводительных потерь азота, распылению верхнего слоя почвы, способствующему развитию водной эрозии на склоновых полях и дефляции почвы в районах ветровой эрозии [3–7]. К тому же отвальная обработка почвы требует больших экономических и энергетических затрат, которые не всегда компенсируются полученным урожаем. Минимализация обработки дерново-подзолистой почвы призвана снизить негативное влияние ежегодной вспашки путем уменьшения площади и глубины почвообработки, сократить энергетические и экономические затраты на проведение технологических операций без снижения продуктивности агроценозов [1, 8–10], при этом неизбежно ведет к послойной дифференциации пахотного слоя по плодородию [1, 5].

Перспективной альтернативой механической обработке почвы является прямой посев. Распространение «нулевых» обработок почвы является важным приемом биологизации земледелия [11]. Посев производится специальными сеялками путем врезания семян в почву без существенного нарушения стерни, борьба с сорной растительностью осуществляется гербицидами. За счет этого данная технология имеет большой почвозащитный потенциал сохранения плодородия и предотвращения эрозионных процессов, способствует увеличению содержания в почве органического вещества и улучшению ее агрофизических свойств, повышается биологическая активность почвы и ее влагоудерживающая способность [12–13]. Однако авторы единодушно подчеркивают долгосрочность перспективы достижения таких результатов.

Цель исследований – установить эффективность изучаемых систем основной обработки дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы, изучить реакцию развития корневой системы второй культуры полевого севооборота.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу выполняли на опытном поле Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН на территории с. Первомайский Завьяловского района Удмуртской Республики в четырехпольном полевом севообороте, развернутом во времени: озимая пшеница – горчица белая – яровая пшеница + донник – донник. Исследования проведены в первой ротации севооборота.

Схема стационарного полевого опыта включала отвальную систему основной обработки почвы, комбинированную с чередованием отвальной вспашки на глубину 20 см под озимую пшеницу с ежегодной безотвальной обработкой (БДТ-3) на глубину 10–12 см и прямым посевом (табл. 1).

*Таблица 1*

**Системы основной обработки почвы в полевом севообороте (2022–2024 гг.)**
**Systems of basic tillage in field crop rotation (2022–2024)**

| Система обработки почвы | Марки сельскохозяйственных машин и глубина обработки | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Чистый пар (2022) | Озимая пшеница (2023) | Горчица белая (2024) | Яровая пшеница + донник (2025) |
| Отвальная (к) | ПН-3-35, до 20 см | ПН-3-35, до 20 см | ПН-3-35, до 20 см | ПН-3-35, до 20 см |
| Комбинированная | ПН-3-35, до 20 см | БДТ-3, 10–12 см | БДТ-3, 10–12 см | БДТ-3, 10–12 см |
| Прямой посев | ПН-3-35, до 20 см | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 |

В 2022 г. перед закладкой многолетнего стационарного опыта в чистом пару было проведено двукратное дискование БДТ-3, затем вспашка ПН-3-35 на глубину до 20 см и посев озимой пшеницы Италмас (170 кг/га) в III декаде августа. Уборка пшеницы проведена 26 июля 2023 г. прямым комбайнированием с измельчением соломы. При отрастании сорняков применен гербицид сплошного действия Торнадо, ВР (3 л/га), через три недели в вариантах с отвальной и безотвальной системами почва была обработана в соответствии со схемой опыта, при прямом посеве механической обработки почвы не было. Весной 2024 г. посев горчицы белой был проведен во всех вариантах опыта сеялкой TUME NovaCombi 4000. После уборки культуры прямым комбайнированием с измельчением соломы при отвальной системе обработки почвы проведена вспашка ПН-3-35 на глубину до 20 см, при комбинированной системе – дискование БДТ-3 на глубину 10–12 см, в технологии прямого посева механической обработки почвы не было.

Варианты в полевом опыте размещены систематически в один ярус. Площадь делянки 2000 м$^2$ (40 × 50 м), повторность трехкратная. Почвенные пробы отбирали по слоям 0–10 и 10–20 см сразу после уборки возделываемых в опыте культур. Определение агрофизических свойств проводили по общепринятым методикам: влажность почвы – методом высушивания до постоянной массы; плотность – методом режущего кольца. Метод учета урожайности двойной сплошной с каждой делянки с последующим перерасчетом на 100 % чистоту и стандартную влажность семян (ГОСТ 12037–81; Методика государственного сортоиспытания, 1985), отбор почвенных образцов и взятия корневой системы горчицы – методом Н.З. Станкова.

Для оценки развития корневой системы горчицы белой, в зависимости от системы основной обработки почвы, применен метод фрактальной геометрии. Использованы следующие масштабно-количественные коэффициенты: коэффициенты ветвления или бифуркации, $k_b$ для каждого порядка структуры, показывающие, во сколько раз уменьшается число структурных единиц (ответвлений) при переходе к следующему порядку, и масштабные коэффициенты $k_l$, показывающие, во сколько раз увеличивается длина элемента структуры следующего порядка. За первый порядок приняты минимальные элементы структуры корневой системы горчицы белой.

$K_b$ и $K_l$, вычисленные как средние рядов $k_b$ и $k_l$, несут количественную информацию о структуре разветвленного объекта. Отношение их логарифмов принято за $D_r$, фрактальную размерность реальной разветвленной структуры.

$$D_r = \ln K_b / \ln K_t. \quad (1)$$

Данная методика расчета фрактальной размерности для корневых систем применима при соблюдении правил кодирования элементов структуры: корень, несущий на себе *n* порядков, получает порядок не меньше, чем (*n* + *1*), при этом к (*n* + *1*)-му порядку может быть отнесен корень, не несущий на себе *n* порядков на основании его большой длины [14].

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с помощью программы Microsoft Office 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальный участок площадью 4 га расположен на опытном поле Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН. Почва опытного участка – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая слабосмытая на покровных глинах и тяжелых суглинках. На начало ротации полевого севооборота в среднем по опыту содержание гумуса в пахотном слое составляло 2,06 %, подвижного фосфора 333 мг/кг и обменного калия 141 мг/кг (по Кирсанову). Реакция почвенной среды слабокислая ($pH_{KCl}$ = 5,29 ед.).

Вегетационный период 2023 г. был засушливым: с апреля по август ГТК составил 0,45 при норме 1,0. По данным метеорологических станций Удмуртской Республики, с 28 мая по 28 июля 2023 г. наблюдалось опасное агрометеорологическое явление: почвенная засуха. В период вегетации озимой пшеницы в течение не менее трех декад подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см составили не более 10 мм. Агрометеорологические условия для роста, развития и созревания зерновых культур на полях с низкими запасами влаги в почве складывались плохие. Озимая пшеница эффективно использовала влагу осенне-зимнего периода. Состояние посевов преимущественно оценивалось как хорошее. В 2024 г. в период вегетации горчицы белой осадки выпадали неравномерно и носили ливневый характер: ГТК с мая по август составил 1,30. Почвенные засухи I и II декад июля, III декады августа сменялись проливными затяжными дождями и переувлажнением почвы в III декаду июня (91 мм при норме 63 мм), I и II декады августа (73 мм при норме 62 мм). В сложившихся погодных условиях состояние растений горчицы белой оценивалось как хорошее.

Обработка почвы непосредственно влияет на агрофизические характеристики почвы, которые впоследствии создают определенные условия для развития корневой системы растений. Наиболее важным агрофизическим показателем является плотность сложения почвы, особенно в корнеобитаемом слое. На нее выраженно влияет система почвообработки, кроме того, она постоянно изменяется в течение вегетации в зависимости от степени увлажнения почвы и развития корневой системы растений.

При закладке стационарного многолетнего опыта по исследованию систем основной обработки дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы установлены исходные агрофизические характеристики пахотного горизонта. Вспашка была проведена летом 2022 г. при всех изучаемых системах почвообработки (ПН-3-35 до 20 см). Для определения агрофизических свойств пахотного горизонта в опыте нами были отобраны пробы по слоям 0–10 и 10–20 см после уборки озимой пшеницы 23 августа 2023 г. Плотность почвы в верхнем слое пахотного горизонта находилась в пределах 1,23–1,34 г/см$^3$, в нижнем слое – 1,31–1,37 г/см$^3$ (табл. 2). Так как изучаемые системы обработки почвы еще не установились, они не оказали достоверного влияния на плотность пахотного горизонта.

Осенью 2023 г. в вариантах с отвальной и безотвальной системами почва была обработана в соответствии со схемой опыта (см. табл. 1), при прямом посеве механической обработки почвы не было. Весной 2024 г. посев горчицы белой на всем экспериментальном участке был проведен сеялкой TUME Nova Combi 4000, рекомендованной для прямого посева. После уборки горчицы белой 4 сентября 2024 г. плотность почвы при прямом посеве относительно данного показателя при отвальной системе обработки существенно увеличивалась в верхнем десятисантиметровом слое на 0,07 г/см$^3$ при $НСР_{05}$ 0,05 г/см$^3$, в нижнем слое на 0,10 г/см$^3$ при $НСР_{05}$ 0,04 г/см$^3$ (см. табл. 2).

Оптимальная плотность пахотного горизонта для большинства сельскохозяйственных культур находится в диапазоне 1,1–1,3 г/см$^3$. Плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при прямом посеве достигла уровня 1,44 г/см$^3$ в слое 10–20 см, превысив критические параметры оптимальных значений. При этом возрастала дифференциация пахотного горизонта по плотности.

*Таблица 2*

**Агрофизические показатели пахотного горизонта в зависимости от системы основной обработки почвы (2022–2024 гг.), г/см³**

**Agrophysical indices of arable horizon depending on the system of basic tillage (2022–2024), g/cm³**

| Система обработки почвы | Плотность почвы, г/см³ | | | | Запас продуктивной влаги в метровом слое, мм (2024 г.) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0–10 см | | 10–20 см | | |
| | 2023 г. | 2024 г. | 2023 г. | 2024 г. | |
| Отвальная (к) | 1,33 | 1,26 | 1,32 | 1,34 | 103 |
| Комбинированная | 1,31 | 1,25 | 1,34 | 1,35 | 85 |
| Прямой посев | 1,32 | 1,33 | 1,35 | 1,44 | 83 |
| $НСР_{05}$ | $F_ф < F_т$ | 0,05 | $F_ф < F_т$ | 0,04 | 2,2 |

Обработка почвы в значительной степени оказывает влияние на способность накапливать и удерживать влагу в течение вегетационного периода. Поэтому оценка влагообеспеченности культур в зависимости от системы основной обработки почвы является основополагающей в выборе рекомендуемой технологии для определенного типа почвы. В условиях неравномерного, а порой избыточного увлажнения вегетационного периода 2024 г. отвальная система основной почвообработки обеспечила существенно лучшее накопление влаги в метровом слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы 103 мм. Снижение запасов продуктивной влаги по прямому посеву и безотвальной обработке в сравнении с ежегодной вспашкой составило 18–20 мм при $НСР_{05}$ 2,2 мм.

Агрофизическими условиями, созданными системой основной обработки почвы, обусловлено развитие корневой системы сельскохозяйственных культур и, как следствие, их урожайность. Ключевые характеристики корневой системы являются основными индикаторами изменений структуры почвы при отказе от обработки [15]. Оценка развития корневой системы горчицы белой в зависимости от системы почвообработки была проведена методом фрактальной геометрии (табл. 3). Предложенная О.В. Панченко, В.В. Низовцевым (2001) методика расчета фрактальной размерности достаточно универсальна. Она применима при морфометрии «линейных» разветвленных структур, если они обладают наличием достаточного количества порядков и сохранением самоподобия при переходе от одного порядка к другому.

*Таблица 3*

**Морфометрия корневых систем горчицы белой в зависимости от системы основной обработки почвы (2024 г.)**

**Morphometry of root systems of mustard depending on the main tillage system (2024)**

| Система обработки почвы | Коэф. ветвления $K_b$ | Коэф. длины $K_l$ | Фрактальная размерность $D_r$ | Суммарная длина корневых систем $L_Σ$, см |
|---|---|---|---|---|
| Отвальная (к) | 2,37 | 1,56 | 1,95 | 152,6 |
| Комбинированная | 2,18 | 1,56 | 1,75 | 93,9 |
| Прямой посев | 2,18 | 1,56 | 1,75 | 73,9 |

В проведенном исследовании зависимости морфологии корней горчицы от системы основной обработки почвы при ежегодной вспашке коэффициент бифуркации составил 2,37, что свидетельствует о большем количестве корневых ответвлений относительно данного показателя при других изучаемых системах. При прямом посеве и комбинированной системе основной обработки почвы количество ответвлений при переходе к следующему порядку уменьшалось пропорционально, коэффициент бифуркации составил 2,18. Коэффициенты длины $K_l$, вычисленные как средние рядов масштабных коэффициентов для каждого порядка, показывающих, во сколько раз увеличивается размер элемента структуры следующего порядка, в зависимости от системы основной обработки почвы не изменялись и составили 1,56. Таким образом, параметр $D_r$ в технологии прямого посева и по комбинированной системе обработки почвы остался неизменным и составил 1,75.

Морфологические различия корневой системы горчицы белой в зависимости от системы

основной обработки почвы позволяет выявить общая протяженность корневой системы $L_{\Sigma}$. При прямом посеве растения горчицы белой имели наименее развитую корневую систему, ее протяженность составила всего 73,9 см. При чередовании вспашки под предшественник с безотвальной обработкой на глубину 10–12 см суммарная длина корней горчицы составила 93,9 см. Отвальная система основной обработки почвы обеспечила общую протяженность корней горчицы 152,6 см, значение фрактальной размерности при этом для корневой системы культуры составило 1,95. Таким образом, количественные показатели разветвленных структур свидетельствуют о том, что при ежегодной вспашке на глубину 20 см сформированы лучшие агрофизические условия для развития корневой системы горчицы белой.

Результаты проведенного исследования зависимости морфологии корневой системы второй культуры полевого севооборота от системы основной обработки почвы подтверждаются прямым измерением массы корней горчицы белой при отборе почвенных образцов из пахотного слоя 0–20 см рамочным способом выемки почвы. Масса корней при ежегодной вспашке (ПН-3-35) на глубину 20 см составила в среднем 0,43 т/ га (табл. 4). Прямой посев и комбинированная система основной обработки существенно уступали по данному показателю на 0,13 и 0,14 т/га соответственно при $НСР_{05}$ 0,10 т/га. Как правило, биомасса корней уменьшается с глубиной почвы как из-за генетических особенностей, так и из-за глубины заделки органических и минеральных удобрений [15]. От развития корневой системы растения напрямую зависит его продуктивность и урожайность агроценоза в целом.

*Таблица 4*

**Урожайность озимой пшеницы и горчицы белой в зависимости от системы основной обработки почвы (2023–2024 гг.), т/га**
**Yield of winter wheat and mustard depending on the system of basic tillage (2023–2024), t/ha**

| Система обработки почвы (А) | Урожайность, т/га | | Масса корней горчицы белой, т/га |
|---|---|---|---|
| | Озимая пшеница (2023) | Горчица белая (2024) | |
| Отвальная (к) | 5,46 | 1,04 | 0,43 |
| Комбинированная | 5,12 | 0,87 | 0,29 |
| Прямой посев | 5,26 | 0,85 | 0,30 |
| $НСР_{05}$ | 0,49 | 0,11 | 0,10 |

Отвальная система обработки почвы обеспечила лучшие условия для развития растений горчицы белой и, как следствие, наибольшую урожайность 1,04 т/га. Прибавка относительно других изучаемых систем обработки почвы составила 0,17–0,19 т/га, или 16–18 %, при $НСР_{05}$ 0,11 т/га. Первая культура полевого севооборота эффективно использовала влагу осенне-зимнего периода и в условиях засухи вегетационного периода 2023 г. сформировала урожайность на уровне 5,12–5,92 т/га.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные данные краткосрочных исследований систематического прямого посева свидетельствуют об уплотнении почвы, которое сдерживает развитие корневой системы растений и концентрирует ее в поверхностном слое 0–10 см, что повышает зависимость агроценоза от погодных условий [16–18]. В Российской Федерации наиболее успешен опыт внедрения «нулевых» технологий на типичных и обыкновенных черноземах в южных регионах страны и в Восточной Сибири. В Ставропольском крае, Курской, Воронежской областях отмечается увеличение содержания органического вещества, улучшение агрохимических и микробиологических показателей, а также повышение урожайности сельскохозяйственных культур и рентабельности производства в условиях недостатка влаги. Возделывание сельскохозяйственных культур без обработки почвы в течение четырех и шести лет не приводило к уплотнению типичных и обыкновенных черноземов [5–7, 19].

В условиях южно-таежной зоны экспериментальным путем получены данные повышения засоренности посевов и снижения урожайности сельскохозяйственных культур без обработки дерново-подзолистой почвы, уплотнения пахотного

слоя и его дифференциации по агрофизическим и агрохимическим показателям [5, 20–21].

Для внедрения прямого посева необходимо научное обоснование подбора культур севооборота в течение его ротации с учетом их средообразующего влияния, формирования пожнивной массы, типа корневой системы, глубины ее проникновения и т.д.

## ВЫВОДЫ

1. При переходе к прямому посеву устанавливается равновесная плотность 1,44 г/см$^3$, характерная для дерново-подзолистой почвы. Уплотнение почвы сдерживало развитие корневой системы второй культуры полевого севооборота и способствовало достоверному снижению урожайности горчицы белой на 0,19 т/га, или 18 %.

2. Ежегодная вспашка, создавая и поддерживая в рыхлом состоянии пахотный горизонт мощностью не менее 20 см, обеспечивала лучшее накопление и сохранение продуктивной влаги, а также суммарную длину корневой системы горчицы белой, превышающую в 1,6 и 2,1 раза данный показатель при комбинированной системе и прямом посеве соответственно. Масса корней второй культуры полевого севооборота при отвальной системе основной обработки почвы достоверно превышала данный показатель при альтернативных системах на 0,13–0,14 т/га.

3. Наибольшая урожайность второй культуры полевого севооборота 1,04 т/га получена в агроценозе с ежегодной отвальной вспашкой. При чередовании отвальной вспашки под озимую пшеницу и безотвальной обработки на глубину 10–12 см под остальные культуры севооборота урожайность горчицы существенно снизилась на 0,17 т/га. При переходе на технологию прямого посева урожайность второй культуры четырехпольного севооборота существенно снизилась на 0,19 т/га.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Холзаков В.М.* Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография. Ижевск, 2006. – 436 с.
2. *Дифференциация* систем основной обработки почвы под культуры полевых севооборотов в зоне Центрального Предкавказья: монография / Ю.А. Кузыченко, В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, В.М. Рындин. – Ставрополь, 2017. – 243 с.
3. *Зинченко С.И.* Особенности развития корневой системы зерновых культур // Земледелие. – 2015. – № 6. – С. 32–35.
4. *Поляков Д.Г., Бакиров Ф.Г.* Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 3–7. – DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101.
5. *Власенко О.А.* Режим питания растений в агрочерноземах в зависимости от приемов основной обработки // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6. – С. 11–19. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-11-19.
6. *Изменение* физических свойств черноземов при прямом посеве / В.П. Белобров, С.А. Юдин, Н.В. Ярославцева [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 880–890. – DOI: 10.31857/S0032180X20070023.
7. *Восстановление* свойств почв в технологии прямого посева / В.К. Дридигер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров, О.В. Кутовая // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1111–1120. – DOI: 10.31857/S0032180X20090038.
8. *Романов В.Н., Цугленок Н.В., Ефимов А.В.* Влияние минимализации обработки на твердость почвы и урожайность яровой пшеницы в открытой части лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 3. – С. 27–34. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-27-34.
9. *Ленточкин А.М., Широбоков П.Е., Ленточкина Л.А.* Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы [Технологии прямого посева яровой пшеницы] // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 9–13.
10. *Тронина Л.О., Кудрявцев И.М.* Подтверждение методики прогнозирования водной эрозии фактическим измерением показателей плодородия агродерново-подзолистой почвы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 16–25.
11. *Лукин С.В.* Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценоза (на примере Белгородской области) // Земледелие. – 2021. – № 1. – С. 11–15. – DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
12. *Турин Е.Н.* Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (22). – С. 150–168. – DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
13. *Влияние* ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зауралья / Г.Р. Ильбулова, Я.Т. Суюндуков, И.Н. Семенова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 66–71. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_66.
14. *Панченко О.В. , Низовцев В.В.* Формализм фрактальной геометрии в приложении к реальным разветвленным структурам // Почвоведение. – 2001. – № 6. – С. 685–692.

15. *Changes* in the degree of lateral root trait plasticity and trade-offs of maize under long-term no tillage / L. Yin, Q. Lv, P. Wang, H. Xie // Frontiers in Plant Science. – 2024. – № 15 – P. 1–10. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1345189.
16. *Soil* Tillage and Cropping System Effects on the Physical-Hydric Properties of a Soil under No-Tillage / T.S. da Silva, L.E.A.S. Suzuki, C.A. Tormena [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15 (22). – P. 15936. – DOI: 10.3390/su152215936.
17. *Examining* crop root apparatus traits in a maize-soybean-winter wheat rotation under conservation agriculture management / B. Lazzaro, L. Furlan, A. Berti, F. Morari // European Journal of Agronomy. – 2021. – Vol. 122. – DOI: 10.1016/j.eja.2020.126171.
18. *Opportunities* for Mitigating Soil Compaction in Europe-Case Studies from the SoilCare Project Using Soil-Improving Cropping Systems / I. Piccoli, T. Seehusen, J. Bussell [et al.] // Land. – 2022. – № 11 (223). – DOI: 10.3390/land11020223.
19. *Влияние* способов основной обработки почвы на агрофизическое состояние чернозема типичного и продуктивность гороха / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.Н. Морозов [и др.] // Земледелие. – 2024. – № 1. – С. 28–33. – DOI: 10.24412/0044- 3913-2024-1-28-33.
20. *Зубарев Ю.Н.* Современные тенденции обработки почвы и защиты растений: научно-практическое развитие в Пермском крае // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 4 (16). – С. 10–15.
21. *Ленточкин А.М., Ухов П.А.* Сравнение no-till и минимальной обработки почвы при выращивании промежуточных культур и яровой пшеницы // Сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 5 (12). – С. 71–77. – DOI: 10.25930/0372-3054/011.5.12.2019.

## REFERENCES

1. Holzakov V.M., *Povyshenie produktivnosti dernovo-podzolistyh pochv v Nechernozemnoj zone* (Increasing productivity of sod-podzolic soils in the Non-Chernozem zone), Izhevsk, 2006, 436 p. (In Russ.)
2. Kuzychenko Yu.A., Kulincev V.V., Godunova E.I., Ryndin V.M., *Differenciaciya sistem osnovnoj obrabotki pochvy pod kul'tury polevyh sevooborotov v zone Central'nogo Predkavkaz'ya* (Differentiation of basic tillage systems for crops of field crop rotations in the zone of the Central Precaucasus) ,Stavropol', 2017, 243 p. (In Russ.)
3. Zinchenko S.I., *Zemledelie*, 2015, No. 6, pp. 32–35. (In Russ.)
4. Polyakov D.G., Bakirov F.G., *Zemledelie*, 2020, No. 1, pp. 3–7, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101. (In Russ.)
5. Vlasenko O.A., *Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 6, pp. 11–19, DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-11-19. (In Russ.)
6. Belobrov V.P., Yudin S.A., Yaroslavceva N.V. [et al.], *Pochvovedenie*, 2020, No. 7, pp. 880–890, DOI: 10.31857/S0032180X20070023. (In Russ.)
7. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaya O.V., *Pochvovedenie*, 2020, No. 9, pp. 1111–1120, DOI: 10.31857/S0032180X20090038. (In Russ.)
8. Romanov V.N., Cuglenok N.V., Efimov A.V., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 3, pp. 27–34, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-27-34. (In Russ.)
9. Lentochkin A.M., Shirobokov P.E., Lentochkina L.A., *Zemledelie*, 2016, No. 3, pp. 9–13. (In Russ.)
10. Tronina L.O., Kudryavcev I.M., *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoho-zyajstvennoj akademii*, 2022, No. 4, pp. 16–25. (In Russ.)
11. Lukin S.V., *Zemledelie*, 2021, No. 1, pp. 11–15, DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103. (In Russ.)
12. Turin E.N., *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2020, No. 2 (22), pp. 150–168, DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168. (In Russ.)
13. Il'bulova G.R., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N. i dr., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, T. 36, No. 4, pp. 66–71, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_66. (In Russ.)
14. Panchenko O.V., Nizovcev V.V., *Pochvovedenie*, 2001, No. 6, pp. 685–692. (In Russ.)
15. Yin L., Lv Q., Wang P., Xie H., Changes in the degree of lateral root trait plasticity and trade-offs of maize under long-term no tillage, *Frontiers in Plant Science,* 2024, No. 15, pp. 1–10, DOI: 10.3389/fpls.2024.1345189.
16. da Silva T.S., Suzuki L.E.A.S., Tormena C.A., Schmidt M.R., Mazurana M., Levien R., Soil Tillage and Cropping System Effects on the Physical-Hydric Properties of a Soil under No-Tillage, *Sustainability*, 2023, No. 15 (22), pp. 15936, DOI: 10.3390/su152215936.
17. Lazzaro B., Furlan L., Berti A., Morari F., Examining crop root apparatus traits in a maize-soybean-winter wheat rotation under conservation agriculture management, *European Journal of Agronomy*, 2021, Vol. 122, DOI: 10.1016/j.eja.2020.126171.
18. Piccoli I., Seehusen T., Bussell J. et al., Opportunities for Mitigating Soil Compaction in Europe-Case Studies from the SoilCare Project Using Soil-Improving Cropping Systems, *Land*, 2022, No. 11 (223), DOI: 10.3390/land11020223.
19. Dubovik D.V., Dubovik E.V., Morozov A.N. i dr., *Zemledelie*, 2024, No. 1, pp. 28–33, DOI: 10.24412/0044- 3913-2024-1-28-33. (In Russ.)
20. Zubarev Yu.N., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2016, No. 4 (16), pp. 10–15. (In Russ.)

21. Lentochkin A.M., Uhov P.A., *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal,* 2019. No. 5 (12), pp. 71–77, DOI: 10.25930/0372-3054/011.5.12.2019. (In Russ.)

**Информация об авторе:**
*Л.О. Тронина,* кандидат сельскохозяйственных наук

**Contribution of the author:**
*L.O. Tronina,* PhD in agriculture

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-222-230
УДК 633.112:631.52:581.5(571.1)

# ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

**В.С. Юсов, М.Г. Евдокимов**
*Омский аграрный научный центр, Омск, Россия*
**E-mail:** yusov@anc55.ru

**Для цитирования:** *Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Оценка адаптивности и стрессоустойчивости к засухе перспективных линий яровой твердой пшеницы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 222–230. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-222-230.

**Ключевые слова:** твердая пшеница, засухоустойчивость, урожайность, экологическая пластичность, адаптивная способность, индекс.

**Реферат.** *Проведена сравнительная комплексная оценка сортов и перспективных линий яровой твердой пшеницы по адаптивности, стабильности формирования урожайности, устойчивости к засухе и стрессу. Для этого были использованы методы определения экологической пластичности по S.A. Eberhart, W.A. Russel, AMMI-метод для определения взаимодействия «генотип–среда» на основе эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др. Для выявления степени засухоустойчивости и стрессоустойчивости было использовано 11 показателей (индексов): TOL (индекс выносливости); SI (индекс стабильности урожайности); DI (индекс засухоустойчивости); STI (индекс толерантности к стрессу); DSI (индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); DSI* (модифицированный индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); GMP (индекс геометрической продуктивности); HM (среднее гармоническое); RDI (относительный индекс засухи); ATI (индекс абиотической толерантности); SDI (индекс чувствительности к засухи). По методу AMMI стабильными по урожайности генотипами являются Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, адаптивными Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная. Расчет по методу S.A. Eberhart, W.A. Russell дифференцировал сорта на три группы: стабильные хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы: Гордеиформе 12-16-9 и Омская янтарная; 2 – высокостабильные, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; 3 – экстенсивные: Гордеиформе 14- 83-1, Омский топаз. Индексы стрессоустойчивости и засухоустойчивости TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI* GMP, SDI выделяют два образца Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абиотической толерантности (ATI) Гордеиформе14-83-1 и Жемчужина Сибири. Выявлены наиболее стрессоустойчивые и стабильные генотипы Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная.*

# ASSESSMENT OF ADAPTABILITY AND STRESS RESISTANCE TO DROUGHT OF PROMISING LINES OF SPRING DURUM WHEAT

**V.S. Yusov, M.G. Evdokimov**
*Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia*
**E-mail:** yusov@anc55.ru

**Keywords***:* durum wheat, drought resistance, yield, ecological plasticity, adaptive ability, index

**Abstract.** *A comparative comprehensive assessment of varieties and promising lines of spring durum wheat in terms of adaptability, stability of yield formation, resistance to drought and stress was carried out. For this purpose, the methods for determining ecological plasticity according to S.A. Eberhart, W.A. Russel, the AMMI method for determining the interaction of the genotype environment based on the effects of additive and multiplicative interactions according to R.W. Zobel et al., and J.M. Mondo et al. were used. To establish the degree of drought resistance and stress resistance, 11 indicators (indices) were used: TOL (Endurance Index); SI (Yield Stability Index); DI (Drought Tolerance Index); STI (Stress Tolerance Index); DSI (Fisher and Maurer Drought Tolerance Index); DSI* (Modified Fisher and Maurer Drought Tolerance Index); GMP (Geometric Productivity Index); HM (Mean Harmonic); RDI (Relative Drought Index); ATI (Abiotic Tolerance Index); SDI (Drought Sensitivity*

*Index). According to the AMMI method, the yield-stable genotypes are Gordeiforme 11-98-3, Gordeiforme 12-16-9, Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 13-37-2, adaptive genotypes Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 13-37-2, Gordeiforme 14-83-1, Jemthujina Siberia and Omskaya jantarnaya. Calculation according to the method of S.A. Eberhart, W.A. Russell differentiated the varieties into 3 groups: 1- stable genotypes that respond well to growing conditions: Gordeiform 12-16-9 and Omskaya Amber; 2 – highly stable, increasing yields in proportion to improving environmental conditions: Gordeiform 12-17-2, Gordeiform 13-37-2, Fortuna 24; 3 – extensive: Gordeiform 14-83-1, Omsk topaz. The stress and drought resistance indices TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI* GMP, SDI distinguish two samples: Gordeiforme12-17-2 and Omskaya jantarnaya. According to the relative drought index (RDI), Gordeiforme12-17-2, Gordeiforme14-83-1 and Jemthujina Sibiri stand out, and according to the abiotic tolerance index (ATI), Gordeiforme14-83-1 and Jemthujina Siberia. Revealed the most stress-resistant and stable genotypes: Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 14-83-1 and Omskaya jantarnaya.*

Селекция любой сельскохозяйственной культуры направлена прежде всего на устранение у лучших, хорошо адаптированных сортов и перспективных линий признаков, лимитирующих урожай зерна и его качество. Однако чем выше достижения селекции, тем труднее повышать ее эффективность. Западная Сибирь является зоной эффективного производства высококачественного продовольственного зерна яровой твердой пшеницы. В то же время значительные колебания условий среды, почти ежегодное действие стрессовых факторов увеличивают коммерческий риск при ее возделывании. Основными факторами, дестабилизирующими производство твердой пшеницы, являются засуха, высокие температуры, корневые гнили, болезни листьев, колоса, повреждение вредителями [1].

Засуха – самый сложный и разрушительный абиотический стрессор, сопровождающий всю историю земледелия. Ущерб от нее превышает ущерб от любого другого стрессора [2, 3]. Ожидается, что частота и тяжесть засух станут более серьезными в ближайшее время из-за глобального потепления [4]. Ориентация в процессе селекции только на высокий потенциал продуктивности способствовала снижению устойчивости сортов к неблагоприятным воздействиям внешней среды [5, 6].

Для дифференциации засухоустойчивых генотипов были предложены индексы засухоустойчивости и стрессоустойчивости на основе математической зависимости между благоприятными и стрессовыми условиями. Число индексов достигает нескольких десятков [7]. Выбор генотипов на основе этих критериев не всегда удачный, что напрямую связано со всеми аспектами биологии и механизмом выживания сельскохозяйственных культур [8, 9].

Главной помехой получения объективной информации является взаимодействие «генотип–среда» (G × E), связанное с различиями норм реакции генотипов в различных средах.

Цель исследований – определить генотип-средовые взаимодействия, оценить засухо- и стрессоустойчивость перспективных линий яровой твердой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили три реестровых сорта и восемь перспективных линий, созданных в лаборатории селекции яровой твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ». Полевые исследования выполнялись в 2021–2024 гг. в двух экологических пунктах: южная лесостепь (ЮЛ), Омский АНЦ на базе селекционного севооборота лаборатории селекции твердой пшеницы ФГБНУ, а также степная зона (С), опорный пункт семеноводства п. Новоуральский. Опыты были заложены по чистому пару в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [10]. Почва опытного участка в южной лесостепи – чернозем слабовыщелоченный, среднегумусный (6,2 %), тяжелосуглинистый. Почва опытного участка в степной зоне – чернозем обыкновенный, маломощный, малогумусовый (5,5 %), тяжелосуглинистый. Срок посева 14–15 мая, норма высева – 4,5 млн всхожих зерен на 1 га. Площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная. Общее количество наблюдений $n$ = 308.

Для оценки засухоустойчивости и стрессоустойчивости рассчитано 11 индексов, представленных в работах [11–16]: TOL (индекс выносливости); SI (индекс стабильности урожайности); DI (индекс засухоустойчивости); STI (индекс толерантности к стрессу); DSI (индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); DSI* (модифицированный индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); GMP (индекс геометрической продуктивности); HM (среднее гармоническое); RDI (относительный индекс засухи); ATI (индекс

абиотической толерантности); SDI (индекс чувствительности к засухи).

Параметры экологической пластичности рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel [17, 18]. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (AMMI-анализ) были определены по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др., рассчитывался уровень фенотипической стабильности генотипов (ASV), индекс стабильности взаимодействия (YSI) и их ранги (rASV, rYSI) [19, 20].

Погодные условия в течение вегетационного периода 2021–2024 гг. были очень контрастными как в степной зоне, так и в южной лесостепи: 2021, 2022 гг. характеризовались повышенной температурой и недобором осадков в течение вегетационного периода, а в 2024 г. чрезмерными ливневыми осадками и недобором эффективных температур. Наиболее экстремальным был 2023 г. Засуха наблюдалась в течение всего лета как в степной зоне, так и в южной лесостепи, основным лимитирующим фактором была почвенная засуха, вызванная дефицитом атмосферных осадков от всходов до начала налива зерна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Средняя урожайность за годы исследования по всем сортам составляла 2,63 т/га и варьировала от 2,44 до 2,98 т/га. В условиях засушливых лет средний показатель достигал 1,41 т/га, а в благоприятные годы 3,12 т/га (табл. 1). Потери от засухи составили 1,71 т/га. Различия по сортам были очень существенны (от 1,31 до 2,10 т/га). В благоприятных условиях урожайность изменялась от 2,94 до 3,35 т/га. Высокая потенциальная урожайность в оптимальных условиях необязательно приводит к повышению урожайности в стрессовых условиях.

*Таблица 1*

**Средняя урожайность, показатели пластичности и стабильности образцов яровой твердой пшеницы по степи и южной лесостепи, 2021–2024 гг.**
**Yield, plasticity and stability indicators of spring durum wheat samples the steppe and southern forest steppe, 2021–2024 years.**

| № п/п | Генотип | Урожайность, т/га | | | Параметры AMMI | | Параметры S.A. Eberhart, W.A. Russel | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Средняя Yav | Без стресса Yp | При стрессе Ys | ASV | YSI | Bi | $\sigma_d^2$ |
| 1 | Г.11-98-3 | 2,44 | 2,94 | 1,18 | 0,15 | 12 | 0,98 | 0,16 |
| 2 | Г.12-16-9 | 2,61 | 3,10 | 1,40 | 0,29 | 9 | 1,05 | 0,04 |
| 3 | Г.12-17-2 | 2,98 | 3,35 | 2,05 | 0,37 | 5 | 0,98 | 0,11 |
| 4 | Г.13-37-2 | 2,47 | 2,96 | 1,25 | 0,26 | 10 | 0,98 | 0,06 |
| 5 | Г.14-83-1 | 2,87 | 3,37 | 1,62 | 0,49 | 7 | 0,86 | 0,05 |
| 6 | Жемчужина Сибири | 2,71 | 3,29 | 1,26 | 0,59 | 11 | 1,04 | 0,26 |
| 7 | Омская янтарная | 2,79 | 3,16 | 1,85 | 0,53 | 9 | 1,05 | 0,08 |
| 8 | Омский изумруд | 2,45 | 2,99 | 1,08 | 0,86 | 20 | 1,08 | 0,10 |
| 9 | Омский малахит | 2,68 | 3,19 | 1,41 | 0,71 | 14 | 1,03 | 0,22 |
| 10 | Омский топаз | 2,49 | 2,91 | 1,45 | 0,63 | 15 | 0,74 | 0,07 |
| 11 | Фортуна 24 | 2,47 | 3,07 | 0,97 | 1,03 | 20 | 1,22 | 0,18 |
| | Среднее | 2,63 | 3,12 | 1,41 | – | – | – | – |
| НСР при *P > 0,05 | | 0,18 | 0,23 | 0,14 | – | – | – | – |

*Примечание.* Г. – Гордеиформе; Yav – средняя урожайность; Yp – урожайность без стресса; Ys – урожайность при стрессе; ASV – уровень фенотипической стабильности генотипов; YSI – индекс стабильности взаимодействия; Bi – коэффициент линейной регрессии; $\sigma_d^2$ – дисперсия.

Взаимодействие «генотип–среда» (G × E) вносит несогласованность в относительный рейтинг генотипов в разных средах [21]. Разрешающая способность методов оценки адаптивной способности неодинакова, и оценка по одному методу не отражает полностью свойства генотипов. Для объективной оценки необходимо использовать комплекс показателей, поэтому были использованы методы определения экологической пластичности по S.A. Eberhart, W.A. Russel и AMMI-метод для определения взаимодействия «генотип–среда» на основе эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др. Результаты взаимодействия генотипа и среды на основании первой главной компоненты показали 34,7 % от общей изменчивости, вызванной генотип-средовым взаимодействием (рис. 1).

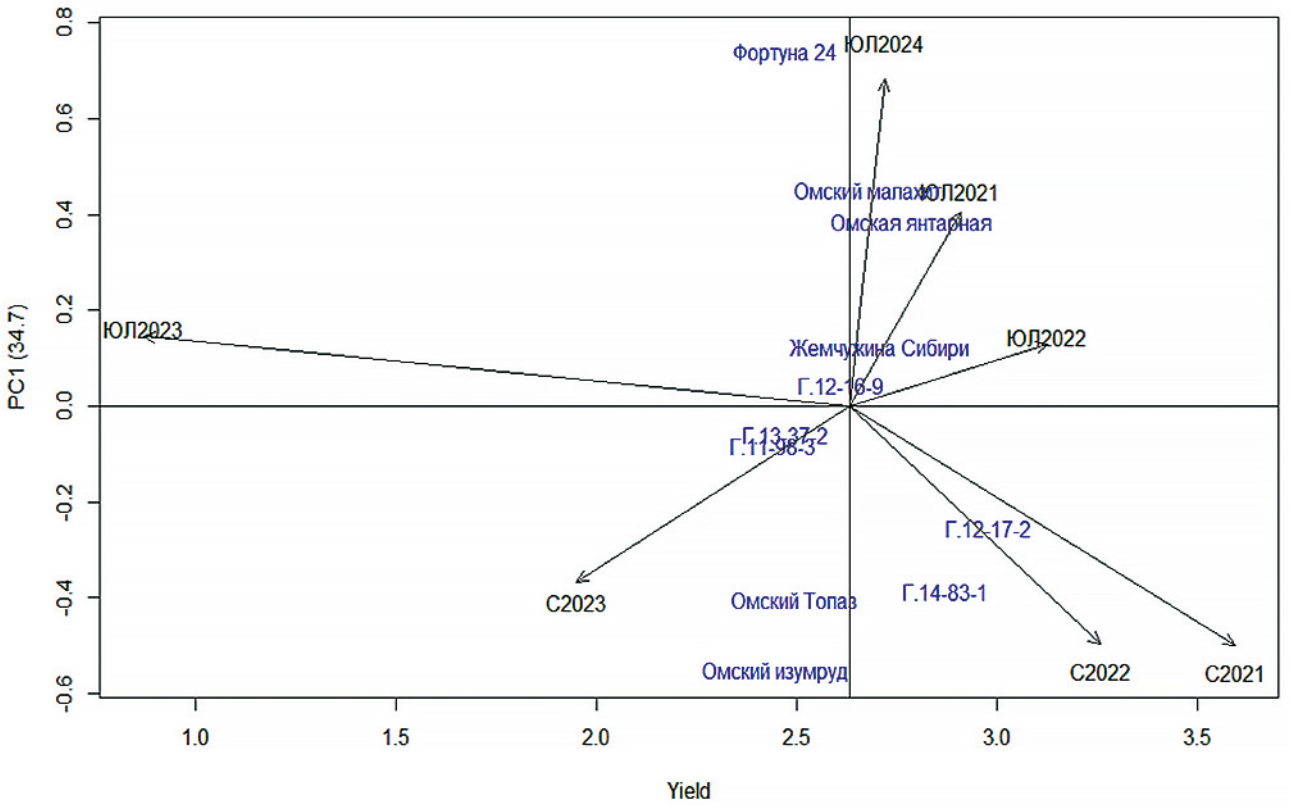



*Рис. 1.* Распределение сортов и значения урожайности в плоскости первой главной компоненты, 2021–2024 гг. (Yield – урожайность, PC1 – первая главная компонента)

Distribution of varieties and yield values, in the plane of the first main component, 2021–2024.

Самые неблагоприятные условия для формирования признака сложились в 2023 г. в южной лесостепи и степи. Генотипы и среды, которые находятся параллельно линии ординаты, имеют одинаковую среднюю урожайность, а абсцисса показывает основные эффекты генотипов и среды. Меньшие значения ASV указывают на более стабильные генотипы: Гордеиформе 11- 98- 3, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2. Индекс стабильности взаимодействия (YSI) включает как среднее значение показателя, так и стабильность в одном критерии. Адаптивными генотипами являются: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная.

Расчет по методу S.A. Eberhart, W.A. Russell позволяют дифференцировать сорта на три группы: 1 – наиболее ценные сорта, это стабильные хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы: Гордеиформе 12-16-9 и Омская янтарная; 2 – ценные, это высокостабильные сорта, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; 3 – характеризующиеся слабой реакцией на улучшение условий среды, или экстенсивные сорта: Гордеиформе 14-83-1, Омский топаз.

Результаты расчета индексов засухоустойчивости и стрессоустойчивости представлены в табл. 2. Индексы (TOL, SI, HM), рассчитанные по абсолютному и относительному снижению

урожайности образца в стрессовый год по сравнению с благополучным, выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. Индексы, учитывающие величину урожайности в благоприятный год DI, STI, DSI, GMP, SDI, а также индекс DSI*, учитывающий среднюю урожайность по группе изучаемых образцов, также выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абиотической толерантности (ATI) – Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири.

*Таблица 2*

**Индексы засухоустойчивости и стрессоустойчивости образцов яровой твердой пшеницы**
**Indices of drought resistance and stress resistance of spring durum wheat samples**

| Генотип | TOL | SI | DI | STI | DSI | DSI* | GMP | HM | RDI | ATI | SDI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Г.11-98-3 | 1,76 | 0,40 | 0,34 | 0,36 | 1,09 | 1,18 | 1,86 | 1,69 | 2,09 | 1,49 | 0,60 |
| Г.12-16-9 | 1,70 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 1,00 | 1,01 | 2,08 | 1,92 | 2,19 | 1,60 | 0,55 |
| Г.12-17-2 | 1,31 | 0,61 | 0,87 | 0,69 | 0,72 | 0,63 | 2,62 | **2,54** | **2,33** | 1,56 | **0,39** |
| Г.13-37-2 | 1,71 | 0,42 | 0,37 | 0,38 | 1,06 | 1,13 | 1,92 | 1,76 | 2,10 | 1,50 | 0,58 |
| Г.14-83-1 | 1,75 | 0,48 | 0,55 | 0,56 | 0,95 | 0,87 | 2,34 | 2,19 | **2,39** | **1,86** | 0,52 |
| Жемчужина Сибири | 2,03 | 0,38 | 0,34 | 0,43 | 1,13 | 1,09 | 2,03 | 1,82 | **2,33** | **1,86** | 0,62 |
| Омская янтарная | **1,31** | **0,59** | **0,77** | **0,60** | **0,76** | **0,71** | **2,42** | **2,34** | 2,24 | 1,43 | **0,41** |
| Омский изумруд | 1,91 | 0,36 | 0,28 | 0,33 | 1,17 | 1,26 | 1,80 | 1,59 | 2,12 | 1,56 | 0,64 |
| Омский малахит | 1,78 | 0,44 | 0,44 | 0,46 | 1,02 | 1,00 | 2,12 | 1,95 | 2,26 | 1,71 | 0,56 |
| Омский топаз | 1,46 | 0,50 | 0,51 | 0,44 | 0,92 | 0,97 | 2,06 | 1,94 | 2,06 | 1,36 | 0,50 |
| Фортуна 24 | 2,10 | 0,32 | 0,22 | 0,31 | 1,25 | 1,33 | 1,73 | 1,48 | 2,18 | 1,64 | 0,68 |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работах J.P. Aditya с коллегами (2022) и J. Anwar и др. (2011) сообщается о значительных различиях взаимосвязей между индексами, связанными с устойчивостью к засухе даже для одного и того же материала, испытанного в разные сезоны [22, 23]. Поэтому дальнейшая дифференциация образцов по засухоустойчивости проводилась с учетом их ранжирования на основе всех одиннадцати рассчитанных индексов засухо- и стрессоустойчивости и рангов эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий (rASV, rYSI ), а также ранга параметра стабильности ($r\sigma_d^2$). Ранговый анализ выявил наиболее стрессоустойчивые и стабильные образцы: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная (табл. 3).

*Таблица 3*

**Ранги показателей засухо- и стрессоустойчивости образцов яровой твердой пшеницы**
**Ranks of indicators of drought and stress resistance of spring durum wheat samples**

| Генотип | Сумма рангов индексов засухоустойчивости и стрессоустойчивости | rASV | rYSI | $r\sigma_d^2$ | Общая сумма рангов |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Г.11-98-3 | 95 | 1 | 11 | 8 | 115 |
| 2. Г.12-16-9 | 57 | 3 | 6 | 1 | 67 |
| 3. Г.12-17-2 | 17 | 4 | 1 | 7 | **29** |
| 4. Г.13-37-2 | 82 | 2 | 8 | 3 | 95 |
| 5. Г.14-83-1 | 36 | 5 | 2 | 2 | **45** |
| 6. Жемчужина Сибири | 77 | 7 | 4 | 11 | 99 |
| 7. Омская янтарная | 33 | 6 | 3 | 5 | **47** |
| 8. Омский изумруд | 104 | 10 | 10 | 6 | 130 |
| 9. Омский малахит | 56 | 9 | 5 | 10 | 80 |
| 10. Омский топаз | 59 | 8 | 7 | 4 | 78 |
| 11. Фортуна 24 | 110 | 11 | 9 | 9 | 139 |

Подход, основанный на комбинации индексов, позволяет отобрать лучшие генотипы, но при этом прослеживается линейная связь с любыми двумя признаками. В то же время для выявления лучших генотипов как для стрессовой, так и для нестрессовой среды на основе большого количества индексов необходим подход, который преобразует большой набор переменных в меньший с минимальными потерями информативности: соответствующим инструментом является метод главных компонент (PCA).

На биплоте (рис. 2) все индексы разделились на четыре квадранта. В биплот-анализе косинус угла между векторами указывает на индексные корреляции; тупой угол означает положительную корреляцию, острый угол указывает на отрицательную корреляцию, а перпендикулярные векторы не подразумевают корреляции. Первый квадрант связан с первой главной компонентой (Dim1) и показывает 63,9 % от общих вариаций и связан с увеличением индексов DSI*, SDI, TOL, а также положительно коррелировал с увеличением значения показателей пластичности и стабильности ASV, YSI, Bi, $\sigma_d^2$. Нумерация сортов на рис. 2 соответствует номерам сортов в табл. 3.

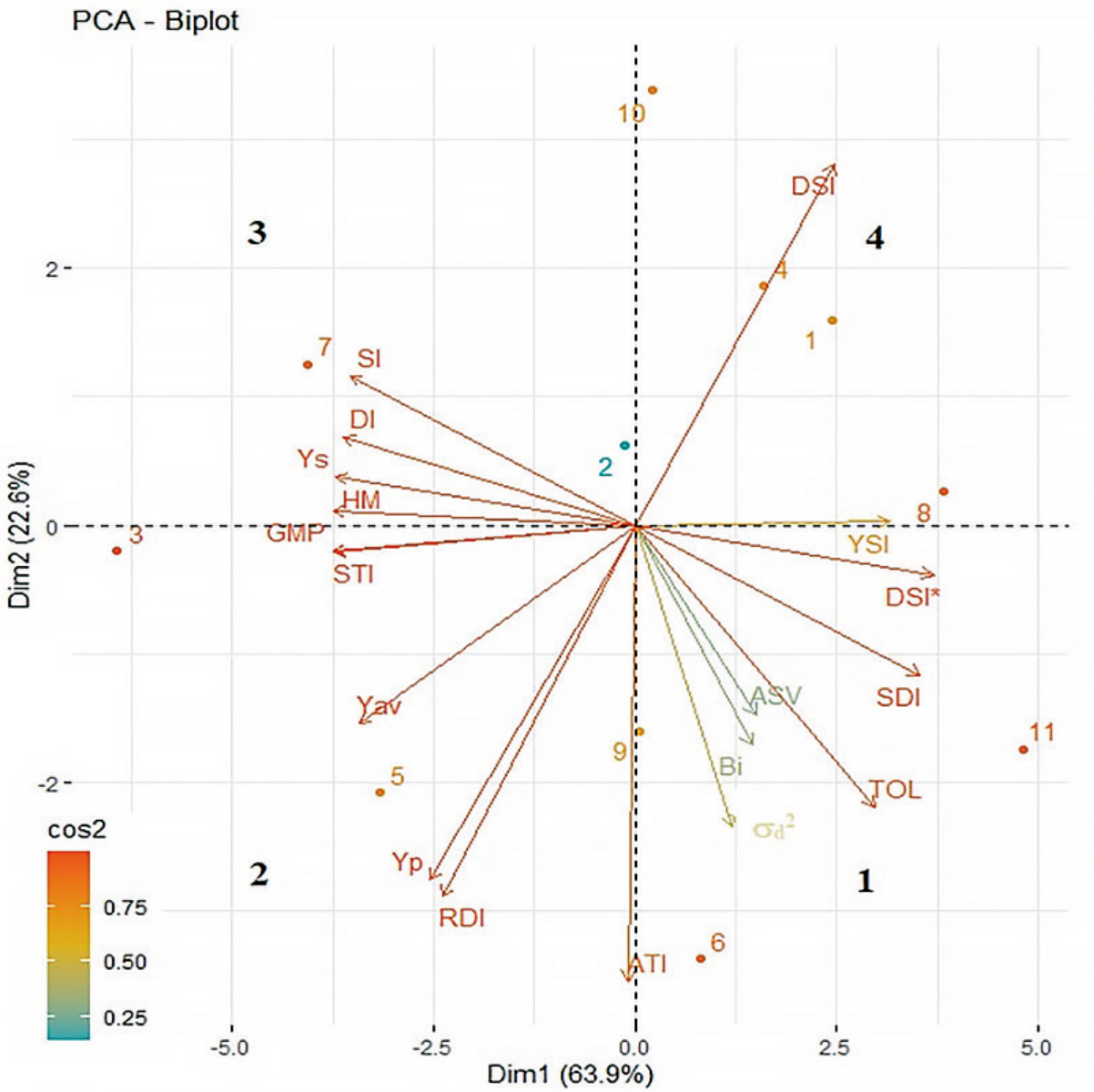



*Рис. 2.* Biplot для индексов устойчивости к засухе, основанных на осях первого и второго основных компонентов (Dim1 и Dim2).

Biplot for drought resistance indices based on the axes of the first and second main components (Dim1 and Dim2).

Таким образом, здесь выделены слабозасухоустойчивые, интенсивные и нестабильные сорта: Жемчужина Сибири и Фортуна 24. Во втором квадранте показаны индексы: STI, RDI, которые отрицательно коррелируют с индексами: DSI*, SDI, TOL и увеличением стабильности и пластичности, а также положительно связаны с повышением урожайности средней (Yav) и без стресса (Yp). Здесь выделены экстенсивные засухоустойчивые сорта с высокой средней урожайностью: Гордеиформе 12-17-2 и Гордеиформе 14-83-1. Третий квадрант представлен индексами SI, DI, HM, которые высоко коррелируют с урожайностью при стрессе (Ys), т. е. здесь отражены наиболее ценные генотипы (стабильные и пластичные, меньше всех снижающие урожайность при стрессовых условиях засухи): Омская янтарная. Четвертый квадрант связан со второй главной компонентой (Dim2) и показывает 22,6 % от общих вариаций. В нем представлен индекс DSI, высокое значение которого свидетельствует о пониженной засухоустойчивости. В этой части биплота расположены слабозасухоустойчивые генотипы: Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 13-37-2.

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили выявить адаптивные свойства у изученных сортов и перспективных линий. Стабильными по урожайности согласно методу AMMI являются Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, адаптивными – Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13- 37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная.

2. Тест S.A. Eberhart, W.A. Russell распределил сорта на три группы: стабильные, хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы Гордеиформе: 12-16-9 и Омская янтарная; высокостабильные, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; экстенсивные: Гордеиформе 14-83-1, Омский топаз.

3. Значения индексов стрессоустойчивости и засухоустойчивости TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI*, GMP, SDI выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абиотической толерантности (ATI) – Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири.

4. Анализ главных компонент позволяет более информативно выявлять наиболее стрессоустойчивые и стабильные образцы как для стрессовой, так и для нестрессовой среды на основе большого количества индексов.

5. Выявлены наиболее стрессоустойчивые и стабильные генотипы: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Юсов В.С.* Создание и селекционно-генетическая оценка исходного материала яровой твердой пшеницы для селекции в условиях Западной Сибири: дис. … д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 2024. – 439 с.
2. *Крупнов В.А.* Засуха и селекция пшеницы: системный подход // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 1. – С. 12–23.
3. *Climate* change: can wheat beat the heat? / R.K. Ortiz, D. Sayre, B. Govaerts [et al.] // Agric. Ecosys. Environ. – 2008. – Vol. 126. – P. 46–58. – DOI: 10.1016/j.agee.2008.01.019.
4. *Osmolyte* accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to postanthesis drought stress in winter wheat (Triticum aestivum L.). / X. Wang, Z. Mao, J. Zhang [et al.] // Environ. Exp. – 2019. – Vol. 166. – P. 103804. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804.
5. *Проблема* засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири и современные экспресс-методы ее оценки в полевых условиях / В.П. Шаманин, А.Ю. Трущенко, А.В. Пинкаль [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 3 (40). – С. 57–64.
6. *Decline* in climate resilience of European wheat / H. Kahiluoto, J. Kaseva, J. Balek [et al.] // Proc Natl Acad Sci. USA. – 2019. – Vol. 116 (1). – P. 123–128. – DOI: 10.1073/pnas.1804387115.
7. *Evaluation* of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices / P. Sharifi, H. Astereki, F. Sheikh, M. Khorasanizadeh // Central Asian Journal of Plant Science Innovation. – 2021. – Vol. 1 (4). – P. 176–179. – DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.
8. *Screening* for durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivar resistance to drought stress using an integrated physiological approach / A. Guellim, B. Hirel, O. Chabrerie [et al.] // J. Crop Sci. Biotechnol. – 2020. – Vol. 23. – P. 355–365. – DOI: 10.1007/s12892-020-00043-8.

9. *Screening* for PEG-induced drought stress tolerance in seedlings of durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars / A. Othmani, A. Sourour, C. Zoubeir [et al.] // Pakistan Journal of Botany. – 2021. – Vol. 53. – P. 823–832. – DOI: 10.30848/PJB2021-3 (5).
10. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 2019. – Вып. 1. – 384 с.
11. *Kiliç H., Tacettin Y*. The Effect of Drought Stress on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Traits of Durum Wheat (Triticum turgidum ssp. durum) Cultivars // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2010. – Vol. 38 (1). – P. 164–170. – DOI: 10.15835/nbha3814274.
12. *Shoot* and root dry weight in drought exposed tomato populations / M. Brdar-Jokanović, Z. Girek, S. Pavlović [et al.] // Genetika. – 2014. – Vol. 46 (2). – P. 495–504. – DOI: 10.2298/GENSR1402495B.
13. *Mirdoraghi M., Behpouri A., Bijanzadeh E.* Evaluating the effects of genotype mixture and stress tolerant indices in durum wheat (Triticum durum Desf.) under drought stress // Iran Agricultural Research. – 2022. – Vol. 41 (1). – P. 83–94. – DOI: 10.22099/ IAR.2022.42353.1469.
14. *Евдокимов М.Г., Юсов В.С*. Селекционные критерии засухоустойчивости твердой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 6. – С. 26–35. – DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35.
15. *Использование* индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области / Ж.Т. Калыбекова, В.И. Цыганков, Е.В. Зуев, Л.Ю. Новикова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – № 183 (3). – С. 85–95. – DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95.
16. *Drought-tolerant* sesame mutant lines assessed by physiological traits and stress indices under water deficit conditions / K. Mohamed, N. Abdelghani, K. Rajae [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. – 2023. – Vol. 14. – P. 100842. – DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100842.
17. *Eberhart S.A., Russell W.A*. Stability parameters for comparing varieties. // Corp. Sci. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.
18. *Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С.* Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). – Уфа, 2011. – 97 с.
19. *Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G*. Statistical Analysis of a Yield Trial // Agronomy Journal. – 1988. – Vol. 80. – P. 388–393. – DOI: 10.2134/agronj1988.00021962008000030002.
20. *Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D*. Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Interracial Common Bean Lines in Kenya // World Journal of Agricultural Research. – 2019. – Vol. 7 (3). – P. 76–87. – DOI: 10.12691/wjar-7-3-1.
21. *Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г*. Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 19–25. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19.
22. *Identification* of drought tolerant, high yielding rice genotypes for rainfed upland ecosystem of Uttarakhand hills through different drought tolerance indices / J.P. Aditya, A. Bhartiya, R.S. Pal [et al.] // J. Environ. Biol. – 2022. – Vol. 43. – P. 306–316. – DOI: 10.22438/jeb/43/2/MRN-1844.
23. *Drought* tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes / J. Anwar, G.M. Subhani, M. Hussain [et al.] // Pak. J. Bot. – 2011. – Vol. 43. – P. 1527–1530.

## REFERENCES

1. Yusov V.S., *Sozdanie i selekcionno-geneticheskaya ocenka iskhodnogo materiala yarovoj tverdoj pshenicy dlya selekcii v usloviyakh Zapadnoj Sibiri* (Creation and selection-genetic evaluation of the initial material of spring hard wheat for breeding in the conditions of Western Siberia), Doctor of Agricultural Sciences dissertation, 2024, 439 p.
2. Krupnov V.A., *Sel'skokhozyajstvennaya biologiya*, 2011, No. 1, pp. 12–23. (In Russ.)
3. Ortiz R. K., Sayre D., Govaerts B., Gupta R. et. al., Climate change: can wheat beat the heat? *Agric. Ecosys. Environ*, 2008, Vol. 126, pp. 46–58, DOI: 10.1016/j.agee.2008.01.019.
4. Wang X., Mao Z., Zhang J., Hemat M., Huang M., Cai J., Jiang D., Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to postanthesis drought stress in winter wheat (Triticum aestivum L.), *Environ. Exp*, 2019, Vol. 166, pp. 103804, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804.
5. Shamanin V.P., Trushchenko A.Yu., Pinkal' A.V., Pushkarev D.V., Potockaya I.V., Mor-gunov A.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet*), 2016, No. 3 (40), pp. 57–64. (In Russ.)
6. Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J. at al., Decline in climate resilience of European wheat, *Proc Natl Acad Sci.*, USA, 2019, Vol. 116 (1), pp. 123–128, DOI: 10.1073/pnas.1804387115.
7. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M., Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices, *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 2021, Vol. 1 (4), pp. 176–179, DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.

8. Guellim A., Hirel B., Chabrerie O. et al., Screening for durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivar resistance to drought stress using an integrated physiological approach, *J. Crop Sci. Biotechnol*, 2020, Vol. 23, pp. 355–365, DOI: 10.1007/s12892-020-00043-8.
9. Othmani A., Sourour A., Zoubeir C. [et al.], Screening for PEG-induced drought stress tolerance in seedlings of durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars, *Pakistan Journal of Botany*, 2021, Vol. 53, pp. 823–832, DOI: 10.30848/PJB2021-3 (5).
10. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscov, 2019, Vyp. 1, 384 p. (In Russ.).
11. Kiliç H., Tacettin Y., The Effect of Drought Stress on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Traits of Durum Wheat (Triticum turgidum ssp. durum) Cultivars, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2010, Vol. 38 (1), pp. 164–170, DOI: 10.15835/nbha3814274.
12. Brdar-Jokanović M., Girek Z., Pavlović S., Ugrinović M., Zdravković J., Shoot and root dry weight in drought exposed tomato populations, *Genetika*, 2014, Vol. 46 (2), pp. 495–504, DOI: 10.2298/GENSR1402495B.
13. Mirdoraghi M., Behpouri A., Bijanzadeh E., Evaluating the effects of genotype mixture and stress tolerant indices in durum wheat (Triticum durum Desf.) under drought stress, *Iran Agricultural Research*, 2022, Vol. 41 (1), pp. 83–94, DOI: 10.22099/ IAR.2022.42353.1469.
14. Evdokimov M.G., Yusov V.S., *Vestnik KraSGAU*, 2024, No. 6, pp. 26–35, DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35. (In Russ.).
15. Kalybekova Zh.T., Cygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2022, No. 183 (3), pp. 85–95, DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95. (In Russ.).
16. Mohamed K., Abdelghani N., Rajae K. [et al.], Drought-tolerant sesame mutant lines assessed by physiological traits and stress indices under water deficit conditions, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, Vol. 14, pp. 100842, DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100842.
17. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Corp. Sci*., 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40.
18. Zykin V. A., Belan I.A., Yusov V.S., *Ehkologicheskaya plastichnost' sel'skokhozyajstven-nykh rastenij (metodika i ocenka)* (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment), Ufa, 2011, 97 p.
19. Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G., Statistical Analysis of a Yield Trial, *Agronomy Journal*, 1988, Vol. 80, pp. 388–393, DOI: 10.2134/agronj1988.0002196200800003 0002.
20. Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D., Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Interracial Common Bean Lines in Kenya, *World Journal of Agricultural Research*, 2019, Vol. 7 (3), pp. 76–87, DOI: 10.12691/wjar-7-3-1.
21. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet*), 2022, No. 2 (63), pp. 19–25, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19. (In Russ.).
22. Aditya J.P., Bhartiya A., Pal R.S., Kant L., Pattanayak A., Identification of drought tolerant, high yielding rice genotypes for rainfed upland ecosystem of Uttarakhand hills through different drought tolerance indices, *J. Environ. Biol*., 2022, Vol. 43, pp. 306–316, DOI: 10.22438/jeb/43/2/MRN-1844.
23. Anwar J., Subhani G.M., Hussain M., Ahmad J., Hussain M., Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes, *Pak. J. Bot*., 2011, Vol. 43, pp. 1527–1530.

**Информация об авторах:**
*В.С. Юсов,* доктор сельскохозяйственных наук
*М.Г. Евдокимов,* доктор сельскохозяйственных наук

**Contribution of the authors:**
*V.S. Yusov,* Doctor of Agricultural Sciences
*M.G. Evdokimov,* Doctor of Agricultural Sciences

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-231-240
УДК 636.2.034:634.084:634.087:663.545

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ КОРМОВОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ САХАРА И ПРОИЗВОДСТВА ДРОЖЖЕЙ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ В ПЕРИОД РАЗДОЯ

**Н.П. Буряков, М.А. Бурякова, И.К. Медведев, А.П. Олесюк**
*Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия*
**E-mail:** i.medvedev@rgau-msha.ru

**Для цитирования:** *Оценка* эффективности влияния кормового средства на основе продуктов переработки сахара и производства дрожжей на молочную продуктивность коров в период раздоя / Н.П. Буряков, М.А. Бурякова, И.К. Медведев, А.П. Олесюк // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 231–240. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-231-240.

**Ключевые слова:** отходы переработки сахара и производства дрожжей, молочная продуктивность, валовой выход жира, биохимические показатели крови коров, сепарация рациона, крупный рогатый скот.

**Реферат**. *Побочные продукты переработки различных производств при оптимальном уровне их ввода в рацион сельскохозяйственных животных позволяют увеличить показатели продуктивности сельскохозяйственных животных, а также могут положительно влиять на обменные процессы в организме. В связи с этим было рассмотрено введение разного уровня продуктов переработки сахара и производства дрожжей отечественного производства в рацион лактирующих коров в период раздоя в количестве 4,11 и 8,22 % в составе комбикорма при одновременном снижении доли подсолнечного шрота, зерна ячменя, свекловичного сухого жома и увеличении зерна кукурузы. Установлено, что введение 8,22 % кормового средства «Винасса» в составе комбикорма повышает однородность полносмешанного рациона и снижает его сепарацию животными, что, вероятно, обусловлено его физико-химическими свойствами. У коров второй опытной группы в период раздоя было установлено повышение валового удоя молока 4%-й жирности за период раздоя на 7,1 % и увеличение валового выхода молочного жира на 7,1 % (разность достоверна). Введение кормового средства «Винасса» в количестве 8,22 % в составе комбикорма в период раздоя способствует оптимизации обменных процессов в организме, о чем свидетельствуют результаты биохимического анализа крови.*

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE EFFECT OF FEED BASED ON WASTE FROM SUGAR PROCESSING AND YEAST PRODUCTION ON THE DAIRY PRODUCTIVITY OF COWS

**N.P. Buryakov, M.A. Buryakova, I.K. Medvedev, A.P. Olesyuk**
*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
**E-mail:** i.medvedev@rgau-msha.ru

**Keywords:** waste from sugar processing and yeast production, milk productivity, gross fat yield, biochemical parameters of blood, separation of ration, cattle.

**Abstract.** *By-products of processing of various industries at an optimal level of their introduction into the diet of farm animals can increase the productivity of farm animals, and can also have a positive effect on metabolic processes in the body. In this regard, the introduction of different levels of sugar processing products and yeast production of domestic production into the diet of lactating cows during the milking period in the amount of 4.11 and 8.22 % in the composition of compound feed was considered, while reducing the proportion of sunflower meal, barley grain, beet pulp and an increase in corn grain. It has been established that the introduction of 8.22 % of the Vinassa feed product in the compound feed increases the uniformity of the fully mixed diet and reduces its separation by animals, which is probably due to its physico-chemical properties. In cows of the second experimental group, during the milking period, an increase in the gross milk yield of 4 % fat content during the milking period by 7.1 %*

*and an increase in the gross milk fat yield by 7.1 % was found (the difference is significant). The introduction of the feed agent "Vinassa" in the amount of 8.22 % in the composition of compound feed during the separation period helps to optimize metabolic processes in the body, as evidenced by the results of a biochemical blood test.*

Важной задачей в молочном скотоводстве является увеличение показателей продуктивности при сохранении высокого качества молока. Одним из главных инструментов для ее достижения является оптимизация рациона путем использования отечественных кормовых средств, которые являются источниками энергии, протеина и других питательных веществ [1–5].

Следует отметить, что оптимизация рациона – это главный инструмент в увеличении показателей молочной продуктивности, так как технология кормления влияет на 60 % на уровень удоя молока и его качественный состав [6].

В настоящее время увеличивается количество и ассортимент пищевых продуктов благодаря интенсивному развитию технологий производства. Это способствует появлению большого объема побочных продуктов, которые при определенных условиях могут стать компонентами для использования в рационах сельскохозяйственных животных. Их применяют в животноводческом секторе АПК с целью повысить показатели продуктивности молочного скота, а также для снижения стоимости рациона и повышения рентабельности технологии производства молока. Отдельно следует рассмотреть преимущества введения в рацион побочных продуктов, которые получают в результате производства пищевых дрожжей [3, 6–12].

Оптимальный уровень ввода продуктов переработки отечественного производства в состав комбикорма для лактирующих коров оказывает положительное влияние на показатели продуктивности, а также способствует повышению процента рентабельности технологии производства молока. Однако механизм действия на организм животного детально не изучен, что делает данную тему актуальной.

Основным продуктом при производстве дрожжей является питательная среда, которая остается после выращивания микроорганизмов. Для выращивания пищевых дрожжей в качестве питательной среды готовят специальную смесь, состоящую из патоки, в которую добавляют разные источники сырого протеина. После достижения определенной концентрации дрожжевой массы в питательной среде дрожжи отделяют от раствора и подготавливают к реализации. Оставшаяся питательная среда после выращивания микроорганизмов обладает энергетической питательностью и является безопасной для использования в животноводстве [2, 13–15].

Полученная жидкость, содержащая комплекс питательных, минеральных и биологически активных веществ, проходит технологию стабилизации для получения стандартизированного кормового средства, которое реализуется в качестве дополнительного компонента рациона для сельскохозяйственных животных [13].

Известны исследования, подтверждающие положительное влияние кормового средства «Винасса» на показатели молочной продуктивности, однако механизм действия влияния на обменные процессы изучен не полностью.

Цель проведенного эксперимента заключалась в изучении влияния кормового средства на основе отходов переработки сахара и производства дрожжей на сепарацию рациона лактирующими коровами в период раздоя, биохимический статус крови, а также показатели молочной продуктивности.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1) определить химический состав кормов, входящих в состав рациона, провести его анализ и разработать рецепты комбикормов с включением кормового средства «Винасса»;

2) установить влияние включения кормового средства «Винасса» в составе рациона на показатели сепарации полносмешанного рациона;

3) оценить влияние используемого компонента и его разного уровня ввода на биохимический состав крови подопытных животных;

4) оценить уровень молочной продуктивности коров за период раздоя (122 сут).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперимент с разным уровнем ввода жидкого кормового средства, полученного на основе переработки сахара и производства дрожжей, проводили на предприятии СПК «Приокский» ООО «РусМилк» Луховицкого района Московской области.

Кормовое средство является коммерческим продуктом «Винасса», которое производится ООО «Ангел Ист Рус» в Липецкой области и обладает следующими характеристиками питательности (табл. 1).

*Таблица 1*

**Питательность кормового средства «Винасса»**
**Nutritional value of Vinassa feed**

| Показатель | Содержание |
|---|---|
| ЭКЕ | 0,78 |
| Сухое вещество, г | 585 |
| Сырой протеин, г | 206 |
| Сахара, г | 60 |
| Сырой жир, г | 5 |
| Кальций, г | 6,4 |
| Фосфор, г | 0,7 |
| Магний, г | 0,2 |
| Калий, г | 56,6 |
| Сера, г | 2,1 |
| Железо, мг | 92 |
| Медь, мг | 10 |
| Цинк, мг | 154 |
| Кобальт, мг | 1,0 |
| Марганец, мг | 3,9 |
| Йод, мг | 0,23 |
| Витамин А, МЕ | 0,333 |
| Витамин D, МЕ | 2,061 |
| Витамин Е, мг | 1,0 |

Для проведения опыта были отобраны лактирующие коровы после отела в период раздоя в количестве 45 голов и распределены на три группы согласно методу пар-аналогов (рис. 1).

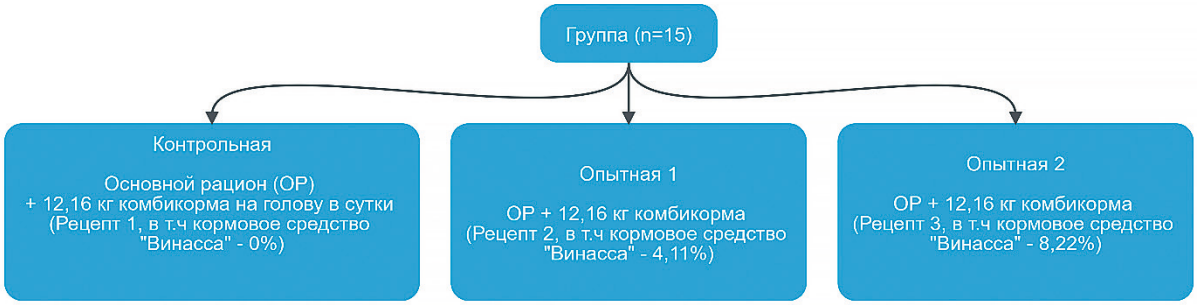



*Рис. 1.* Схема исследования, *n* = 15
Study design, n = 15

Коровы, участвующие в опыте, относились к голштинской породе и были подобраны в группы методом пар-аналогов в конце периода сухостоя по живой массе, возрасту, физиологическому состоянию и показателям молочной продуктивности за прошлую лактацию. Животные были клинически здоровы и находились в одинаковых условиях привязного содержания.

Рационы, используемые в период эксперимента, соответствовали нормам детализированного кормления, которые были рассчитаны с учетом живой массы, показателями продуктивности и месяца лактации. Раздача корма осуществлялась 2 раза в день.

Кормовое средство на основе переработки сахара и производства дрожжей вносили в микшер-кормораздатчик во время смешивания компонентов комбикорма с последующим добавлением основных кормов. Состав рациона для животных контрольной и опытных групп представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Состав рациона, кг**
**Diet composition, kg**

| Наименование | | Рацион | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Контрольная группа | Первая опытная группа | Вторая опытная группа |
| Основные корма | Силос кукурузный | 24,6 | | |
| | Сенаж люцерновый | 9,4 | | |
| | Сено луговое | 0,5 | | |
| Концентрированные корма | Комбикорм | 12,16 | | |
| Общая масса рациона | | 46,66 | 46,66 | 46,66 |

В ходе эксперимента в комбикорма коров опытных групп включали кормовое средство «Винасса». Состав рецептов комбикормов представлен в табл. 3.

*Таблица 3*

**Состав комбикормов в период раздоя, %**
**Composition of compound feed during the milking period, %**

| Компонент | Рецепт | | |
|---|---|---|---|
| | Контрольная группа | Первая опытная группа | Вторая опытная группа |
| Кукуруза, дерть | 47,70 | 50,16 | 56,74 |
| Ячмень, дерть | 11,51 | 9,05 | 1,65 |
| Свекловичный жом | 5,76 | 3,29 | 1,65 |
| Белковый концентрат «Белкофф» | 16,45 | | |
| *Шрот:* | | | |
| подсолнечный | 4,11 | 2,47 | 0,82 |
| рапсовый | 4,93 | | |
| соевый | 4,93 | | |
| Кормовое средство «Винасса» | – | 4,12 | 8,25 |
| Монокальцийфосфат кормовой | 1,23 | | |
| Премикс | 1,23 | | |
| Динатрийфосфат кормовой | 0,99 | | |
| Мел кормовой | 0,99 | | |
| Кормовая добавка «Новатан» | 0,16 | | |

Анализ показателей молочной продуктивности проводили в соответствии с планом предприятия ежемесячно. Расчет валового выхода молочного белка и жира, суточный и валовой удой 4%-й жирности осуществляли по общепринятым формулам.

Отбор крови для определения биохимических показателей был проведен в конце периода раздоя. Анализ сепарации рационов контрольной и опытных групп проводили раз в месяц.

Статистическая обработка полученных результатов была выполнена в программе Microsoft Excel 2016 с дополнительным пакетом анализа данных.

Достоверность различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента, разность считали достоверной по отношению к контролю при $p < 0,05$.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из главных факторов обеспечения правильного кормления является получение однородного полносмешанного рациона. Для этого необходимо производить закладку кормов в

соответствии с требованиями для данного вида кормораздатчика и обеспечивать оптимальную продолжительность смешивания компонентов рациона [16, 17].

При соблюдении технологии приготовления рациона животные получают энергию, питательные, минеральные и биологически активные вещества в равной степени, что способствует реализации генетического потенциала [1, 6, 18]. Однако несмотря на полное соблюдение технологии приготовления полносмешанного рациона, коровы осуществляют сепарацию кормов, потребляя его фракции неравномерно. Для оценки сепарации рациона у животных контрольной и опытных групп применяли пенсильванское сито (рис. 2).



*Рис. 2.* Оценка фракций полносмешанного рациона при помощи пенсильванского сита
Estimation of fractions of total mixed ration using Pennsylvania sieve

*Таблица 4*

**Оценка однородности полносмешанного рациона и его сепарации животными**
**Evaluation of the homogeneity of a total mixed ration and its separation by animals**

| Сито | Норма, % [19, 20] | Группа | | |
|---|---|---|---|---|
| | | контрольная (M ± m) | первая опытная (M ± m) | втора опытная (M ± m) |
| Первое | 2–8 | 4,1± 0,23 | 4,1±0,32 | 6,1±0,24 [a b] |
| Второе | 30–50 | 42,8±0,32 | 44,0 ±0,26[a] | 47,2±0,18 [a b] |
| Третье | 10–20 | 15,0±0,22 | 15,1±0,32 | 16,7±0,20 [a b] |
| Четвертое | 30–40 | 38,1±0,21 | 36,8±0,32 [a] | 30,0±0,18 [a b] |

*Примечание*. a – разность достоверна по отношению к контрольной группе при $p < 0,05$; b – разность достоверна по отношению к первой опытной группе при $p < 0,05$.

В табл. 4 представлены результаты оценки сепарации рациона.

По результатам оценки однородности рациона можно сделать вывод, что все фракции рациона контрольной и опытных групп находятся в диапазоне нормы, что свидетельствует о соблюдении технологии приготовления полносмешанного рациона [19].

В рационе первой опытной группы количество корма на четвертом сите на 1,3 % меньше, чем в рационе коров контрольной группы. При этом процент содержания кормов на втором сите увеличивается на 1,2 %, а на третьем изменяется незначительно. Таким образом, можно сделать вывод, что введение кормового средства в количестве 4,11 % в составе комбикорма незначительно влияет на изменение фракций полносмешанного рациона.

Однако во второй опытной группе количество корма на четвертом сите снижается на 8,1 % по сравнению с контрольной группой и на 6,8 % по сравнению с первой опытной группой, а количе-

ство кормов на первом, втором и третьем ситах возрастает по сравнению с контрольной и первой опытной группой. Это свидетельствует о том, что мелкие частицы, в том числе комбикорма, распределяются по всему рациону и связываются более прочно с кормами из первого, второго и третьего сита, которые представлены преимущественно сеном, силосом и сенажом.

Это обусловлено физико-химическими свойствами средства, которое находится в жидкой форме, и в количестве 8,22 % в составе комбикорма на голову способствует оптимальному связыванию мелких частиц рациона с более крупными частицами объемистых кормов.

Использование кормового средства в составе комбикорма в количестве 4,11 % в составе комбикорма не приводит к существенным изменениям массы фракций полносмешанного рациона на ситах, однако может способствовать повышению органолептических характеристик комбикорма и его увеличенному потреблению при условии сепарации основной части рациона.

Главным способом оценки продуктивности молочного скота и определения эффективности оптимизации рациона является учет, анализ и расчет показателей молочной продуктивности (табл. 5) [21].

*Таблица 5*

**Анализ показателей молочной продуктивности в период раздоя, *n* = 15**
**Analysis of milk productivity indicators during the milking period, *n* = 15**

| Показатель | Группа | | |
|---|---|---|---|
| | контрольная (M ± m) | первая опытная (M ± m) | вторая опытная (M ± m) |
| Суточный удой молока натуральной жирности за первые 122 сут лактации | 38,2±0,72 | 39,3±0,80 | 40,0±0,59 |
| % к контролю | 100 | 102,9 | 104,7 |
| Суточный удой молока 4%-й жирности за первые 122 сут лактации | 32,8±0,50 | 34,0±0,49 | 35,1±0,81* |
| % к контролю | 100 | 103,7 | 107,0 |
| Удой молока натуральной жирности за первые 122 сут лактации | 4655,5±88,78 | 4791,7±96,92 | 4875,8±72,29 |
| % к контролю | 100 | 102,9 | 104,7 |
| Удой молока 4%-й жирности за первые 122 сут лактации | 4000,3±62,39 | 4146,1±60,08 | 4285,0±98,64* |
| % к контролю | 100 | 103,6 | 107,1 |
| Массовая доля жира в молоке, % | 3,44±0,02 | 3,47±0,06 | 3,52±0,06 |
| Массовая доля белка в молоке, % | 3,16±0,02 | 3,18±0,04 | 3,20±0,03 |
| Валовой выход белка за период раздоя | 147,4±3,63 | 152,5±3,12 | 156,0±2,99 |
| % к контролю | 100 | 103,5 | 105,8 |
| Валовой выход жира за период раздоя | 160,0±2,50 | 165,8±2,40 | 171,4±3,95* |
| % к контролю | 100 | 103,6 | 107,1 |

*Примечание*. * – разность достоверна по отношению к контрольной группе при $p < 0,05$.

Из анализа полученных результатов следует, что включение кормового средства на основе переработки сахара и производства дрожжей способствует увеличению показателей молочной продуктивности у коров опытных групп.

Однако следует отметить, что введение кормового средства в количестве 8,22 % в составе комбикорма способствует увеличению суточного удоя молока 4%-й жирности на 7,0 %, валового удоя молока 4%-й жирности – на 7,1 %, а валового выхода молочного жира – на 7,1 % (разность достоверна).

Вероятно, включение продукта переработки сахара и производства дрожжей, который содержит в составе доступный растворимый протеин и является источником аммиака для роста и развития микроорганизмов рубца.

Биохимический состав крови позволяет оценить полноценность кормления, а также провести анализ изменений в обмене веществ при оптими-

зации рациона путем использования отечественных кормовых средств [22–24]. Биохимические показатели крови лактирующих коров в конце периода раздоя приведены в табл. 6.

*Таблица 6*

**Биохимические показатели крови у лактирующих коров в период раздоя**
**Biochemical parameters of blood in lactating cows during the milking period**

| Показатель | Норма | Группа | | |
|---|---|---|---|---|
| | | контрольная (M ± m) | первая опытная (M ± m) | вторая опытная (M ± m) |
| Билирубин общий, мкмоль/л | 1,16–8,15 | 2,6±0,65 | 2,6±0,36 | 2,3±0,61 |
| АСТ, ед/л | 41–107 | 97,0±9,19 | 98,3±7,63 | 84,0±2,83 |
| АЛТ, ед/л | 10–36 | 25,7±6,01 | 35,0±1,22 | 18,0±1,87** |
| Мочевина, ммоль/л | 2,4–7,5 | 4,6±0,92 | 5,2±0,43 | 4,2±0,31 |
| Креатинин, мкмоль/л | 62–163 | 64,0±4,3 | 66,7±1,47 | 76,7±6,87 |
| Общий белок, г/л | 70–92 | 81,4±0,99 | 82,8±6,00 | 81,8±5,95 |
| Альбумин, г/л | 25–36 | 30,4±3,08 | 32,4±2,98 | 32,2±1,77 |
| Щелочная фосфатаза, ед/л | 31–163 | 55,3±16,39 | 65,7±7,12 | 43,7±3,49 |
| Глюкоза, ммоль/л | 2,0–4,8 | 3,4±0,07 | 3,7±0,11 | 3,5±0,18 |
| Холестерин, ммоль/л | 2,1–8,2 | 4,45±1,21 | 4,7±1,16 | 2,6±0,03 |
| Триглицериды, ммоль/л | 0,09–0,37 | 0,13±0,01 | 0,10±0,00* | 0,12±0,01 |
| Фосфор, ммоль/л | 1,13–2,91 | 2,19±0,12 | 2,30±0,22 | 1,9±0,13 |
| Кальций, ммоль/л | 2,06–3,16 | 2,31±0,03 | 2,29±0,06 | 2,40±0,12 |
| Железо, мкмоль/л | 12,9–37,1 | 23,2±4,39 | 26,4±4,15 | 20,6±2,84 |
| Магний, ммоль/л | 0,75–1,34 | 1,03±0,05 | 1,01±0,04 | 1,01±0,01 |
| Хлор, ммоль/л | 90–108 | 95,0±1,22 | 97,7±1,08 | 96,0±0,71 |

*Примечание*. * – разность достоверна по отношению к контрольной группе при $p < 0,05$;
** – разность достоверна по отношению к первой опытной группе при $p < 0,05$.

Биохимические показатели крови коров контрольной и опытных групп находятся в пределах физиологической нормы. Следует отметить, что уровень триглицеридов достоверно ниже у коров первой опытной группы по сравнению с контрольной. Вероятно, это обусловлено большим потреблением концентрированных кормов, повышенной энергетической питательностью рациона и снижением интенсивности использования липидов собственного тела, которые транспортируются из депо в печень, где используются в качестве энергопластических веществ, особенно в период раздоя. Также интенсивность формирования триглицеридов зависит от здоровья печени [25–27].

Аланинаминотрансфераза – эндогенный фермент, расположенный преимущественно в клетках печени, который отвечает за трансформацию аминокислоты аланин в пируват, регулирующий обеспеченность клеток организма энергией. Превышение этого уровня сверх нормы позволяет сделать вывод о напряженности обменных процессов в печени.

У коров первой опытной группы уровень АЛТ находится на границе физиологической нормы, что позволяет сделать вывод о повышении интенсивности обменных процессов в печени. Однако у коров второй опытной группы уровень АЛТ достоверно ниже, чем у коров первой группы, что свидетельствует о восстановлении оптимальных обменных процессов в печени.

Вероятно, данный факт обусловлен тем, что при введении кормового средства «Винасса» в количестве 4,11 % связывается преимущественно с частицами комбикорма, стимулируя его потребление, и не предотвращает сепарацию рациона, что приводит к нарушению технологии кормления и проблемам с печенью.

## ВЫВОДЫ

1. В результате опыта с введением разного уровня кормового средства «Винасса» в состав комбикорма было установлено, что введение в состав комбикорма в количестве 8,22 % способ-

ствует получению более однородного полносмешанного рациона и снижению его сепарации животными.

2. Включение кормового средства в количестве 8,22 % в период раздоя привело к росту показателей молочной продуктивности: суточный и валовой удой повысился на 7,0 и 7,1 %, валовой выход жира повысился на 7,1 % соответственно по сравнению с животными контрольной группы.

3. Биохимические показатели крови свидетельствуют об улучшении обменных процессов в организме при введении кормового средства «Винасса» в состав комбикорма в количестве 8,22 %, благодаря обеспечению оптимального уровня триглицеридов и АЛТ.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации гранта «Приоритет–2030».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Зубкова А.С., Давыдова М.Н.* Влияние организации кормления коров на качественный состав молока животных // Научный журнал молодых ученых. – 2019. – № 3 (16). – С. 9–11.
2. *Биотехнологические* приемы в переработке отходов предприятий АПК / О.В. Зюзина, Л.Т. Гриднева, Е.В. Таранкот [и др.] // Инновационные технологии в АПК: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Мичуринск, 2018. – С. 235–238.
3. *Лашкова Т.Б., Петрова Г.В.* Отходы кожевенного производства как источник протеина в кормлении КРС // Пути реализации научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Курганской области. – Лесниково, 2018. – С. 534–538.
4. *Функ И.А., Отт Е.Ф.* Подбор пробиотических микроорганизмов в состав нового биопрепарата для сельскохозяйственных животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3. – С. 302–308.
5. *Мартынов В.А., Ломова Т.Г.* Роль энергопротеиновой добавки в кормлении лактирующих коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4 (65). – С. 147–152.
6. *Лютых О.* Формула продуктивного рациона КРС // Эффективное животноводство. – 2020. – № 3 (160). – С. 62–67.
7. *Прокофьева А.А., Быков А.В., Кван О.В.* Белковые отходы как альтернативные источники белка в рационе // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106, № 2. – С. 112–126.
8. *Коняев Н.В., Трубников В.Н.* Тенденции развития комбикормового производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 9. – С. 140–146.
9. *Effects* of yeast culture supplementation on lactation performance and rumen fermentation profile and microbial abundance in mid-lactation Holstein dairy cows / J. Halfen, N. Carpinelli, F.A.B. DelPino [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2021. – Vol. 104, Is. 11. – P. 11580–11592.
10. *Dietary* supplementation with live or autolyzed yeast: Effects on performance, nutrient digestibility, and ruminal fermentation in dairy cows / Caio S. Takiya, Rodrigo G. Chesini, Ana Carolina de Freitas [et al.] // Journal of Dairy Science Available online. – 2024. – № 107 (7). – P. 4495–4508. – DOI: 10.3168/AVS.2023-24194.
11. *Schlabitz C., Neutzling Lehn D., Fernanda Volken de Souza C.* A review of Saccharomyces cerevisiae and the applications of its byproducts in dairy cattle feed: Trends in the use of residual brewer's yeast // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 332. – P. 30059.
12. *The effects* of fermented cassava pulp with yeast waste and different roughage-to-concentrate ratios on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk production in lactating cows / Gamonmas Dagaew, Sawitree Wongtangtintharn, Rittikeard Prachumchai, Anusorn Cherdthong // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, Is. 4. – P. e14585. – DOI: 10.1016/i.heliyon.2023.e14585.
13. *Евдокимова М.Д., Виноградова А.В.* Выбор условий проведения экспериментов по оптимизации режима выращивания кормовых дрожжей // Химия. Экология. Урбанистика. – 2019. – № 1. – С. 382–386.
14. *Effect* of supplementing live *Saccharomyces cerevisiae* yeast on performance, rumen function, and metabolism during the transition period in Holstein dairy cow / L. Cattaneo, V. Lopreiato, F. Piccioli-Cappelli [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2023. – Vol. 106, Is. 6. – P. 4353–4365.
15. *Potential* utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review / Taner Sar, Sharareh Harirchi, Mohaddaseh Ramezani [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 810. – P. 1–18.
16. *Сеидова И.А.* Физико-механические свойства комбикорма и его основных компонентов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (45). – С. 139–146.
17. *Баранова И.* Оптимизируем структуру кормосмеси // Животноводство России. – 2020. – № 12. – С. 50–53.

18. *Петрова М.Ю., Акифьева Г.Е., Косарева Н.А.* Зависимость молочной продуктивности коров красной степной породы от сбалансированности рационов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4. – С. 50–156.
19. *Ухов М.* О пенсильванских ситах и не только // Зоотехнику и ветеринару. – 2022. – № 7 (243). – С. 32–36.
20. *Direct* farm: официальный сайт. – 2022. – URL: https://direct.farm/post/pensilvanskoye-sito-563 (дата обращения: 01.04.2024).
21. *Родионов Г.В., Олесюк А.П.* Изменение показателей качества молока под воздействием ингибиторов // Доклады ТСХА, Москва, 3–5 дек. 2019 г. Вып. 292, Ч. IV. – М., 2020. – С. 498–502.
22. *Боголюбова Н.В., Рыков Р.А.* Биохимический статус организма молочных коров и молодняка крупного рогатого скота с использованием в питании энергетических и фитобиотических компонентов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – № 3 (239). – С. 44–50.
23. *Мкртчян Г.В., Бойко М.Д.* Связь между биохимическими показателями крови и показателями молочной продуктивности у коров в группах с разным уровнем продуктивности // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 8 (134). – С. 357–360.
24. *Сырцев А.* Влияние пробиотика на биохимические показатели крови коров в период раздоя // Комбикорма. – 2019. – № 5. – С. 75–76.
25. *Нормы* потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография / Р.В. Некрасов, А.В. Головин, Е.А. Махаев [и др.]. – М., 2018. – 290 с.
26. *Вандони С.* Транзитный период: профилактика синдрома жирной печени и кетоза // Корма и ветеринария. – 2021. – № 1. – С. 76–80.
27. *Требухов А.В.* Нарушение липидного обмена у коров до и после отела // Инновации и продовольственная безопасность. – 2019. – № 1 (23). – С. 67–70.
28. *Лашкова Т.Б., Петрова Г.В.* Влияние кормовой добавки «Зигбир» на биохимию крови молодняка КРС в разные возрастные периоды // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 55, № 1. – С. 69–73.
29. *Голодяева М.С.* Гепатоз у коров-первотелок (диагностика и профилактика): дис. … канд. вет. наук. – СПб., 2021. – 135 с.
30. *Активность* тканевых ферментов у коров (Bos taurus) и яков (Bos grunniens), содержащихся в разных экологических условиях / Н.Т. Омурзакова, Г.Т. Курманбекова, С.Т. Бейшеналиева [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2018. – № 42. – С. 207–217.

## REFERENCES

1. Zubkova A.S., Davydova M.N., *Nauchnyj zhurnal molodyh uchenyh*, 2019, No. 3 (16), pp. 9–11. (In Russ.)
2. Zyuzina O.V., Gridneva L.T., Tarankot E.V. [i dr.], *Inovatsionnye tekhnologii v APK* (Innovative technologies in the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Michurinsk, 2018, pp. 235–238. (In Russ.)
3. Lashkova T.B., Petrova G.V., *Puti realizatsii nauchno-tekhnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017–2025 gody* (Ways to implement the scientific and technical program for the development of agriculture for 2017–2025), Proceedings of the Conference Title, Lesnikovo, 2018, pp. 534–538. (In Russ.)
4. Funk I.A., Ott E.F., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, pp. 302–308. (In Russ.)
5. Martynov V.A., Lomova T.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, pp. 147–152. (In Russ.)
6. Lyutyh O., *Effektivnoe zhivotnovodstvo*, 2020, No. 3 (160), pp. 62–67. (In Russ.)
7. Prokof'eva A.A., Bykov A.V., Kvan O.V., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023, T. 106, No. 2, pp. 112–126. (In Russ.)
8. Konyaev N.V., Trubnikov V.N., *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, No. 9, pp. 140–146. (In Russ.)
9. Halfen J., Carpinelli N., DelPino F.A.B. et al., Effects of yeast culture supplementation on lactation performance and rumen fermentation profile and microbial abundance in mid-lactation Holstein dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 2021, Vol. 104, Is. 11, pp. 11580–11592.
10. Takiya Caio S., Chesini Rodrigo G., de Freitas Ana Carolina et al., Dietary supplementation with live or autolyzed yeast: Effects on performance, nutrient digestibility, and ruminal fermentation in dairy cows, *Journal of Dairy Science Available online*, 2024, No. 107 (7), pp. 4495–4508.
11. Schlabitz Cláudia, Lehn Daniel Neutzling, Volken de Souza Claucia Fernanda, A review of Saccharomyces cerevisiae and the applications of its byproducts in dairy cattle feed: Trends in the use of residual brewer\'s yeast, *Journal of Cleaner Production*, 2022, Vol. 332, pp. 187–201.

12. Dagaew Gamonmas, Wongtangtintharn Sawitree, Prachumchai Rittikeard, Cherdthong Anusorn, The effects of fermented cassava pulp with yeast waste and different roughage-to-concentrate ratios on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk production in lactating cows, *Heliyon*, 2023, Vol. 9, Is. 4, pp. 1–9.
13. Evdokimova M.D., Vinogradova A.V., *Himiya. Ekologiya. Urbanistika*, 2019, No. 1, pp. 382–386. (In Russ.)
14. Cattaneo L., Lopreiato V., Piccioli-Cappelli F. et al., Effect of supplementing live Saccharomyces cerevisiae yeast on performance, rumen function, and metabolism during the transition period in Holstein dairy cow, *Journal of Dairy Science*, 2023, Vol. 106, Is. 6, pp. 4353–4365.
15. Taner Sar, Sharareh Harirchi, Mohaddaseh Ramezani et al., Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review, *Science of The Total Environment*, 2022, Vol. 810, pp. 1–18.
16. Seidova I.A., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 1 (45), pp. 139–146. (In Russ.)
17. Baranova I., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2020, No. 12, pp. 50–53. (In Russ.)
18. Petrova M.Yu., Akif'eva G.E., Kosareva N.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 4, pp. 50–156. (In Russ.)
19. Uhov M., *Zootekhniku i veterinaru*, 2022, No. 7 (243), pp. 32–36. (In Russ.)
20. Direct farm: URL: https://direct.farm/post/pensilvanskoye-sito-563, 2022.
21. Rodionov G.V., Olesyuk A.P., *Doklady TSHA*, Vyp. 292, Chast' IV, Moscow, 2020, pp. 498–502. (In Russ.)
22. Bogolyubova N.V., Rykov R.A., *Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.E. Baumana*, 2019, No. 3 (239), pp. 44–50. (In Russ.)
23. Mkrtchyan G.V., Bojko M.D., *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2023, No. 8 (134), pp. 357–360. (In Russ.)
24. Syrcev A., *Kombikorma*, 2019, No. 5, pp. 75–76. (In Russ.)
25. Nekrasov R.V., Golovin A.V., Mahaev E.A. i dr., *Normy potrebnostej molochnogo skota i svinej v pitatel'nyh veshchestvah* (Standards of nutrient requirements for dairy cattle and pigs), Moscow, 2018, 290 p.
26. Vandoni S., *Korma i veterinariya*, 2021, No. 1, pp. 76–80. (In Russ.)
27. Trebuhov A.V., *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2019, No. 1 (23), pp. 67–70. (In Russ.)
28. Lashkova T.B., Petrova G.V., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, T. 55, No. 1, pp. 69–73. (In Russ.)
29. Golodyaeva M.S., *Gepatoz u korov-pervotelok (diagnostika i profilaktika)* (Hepatosis in first-calf cows (diagnosis and prevention)), Dissertation of a candidate of veterinary sciences, Sankt-Peterburg, 2021, 135 p.
30. Omurzakova, N.T. Kurmanbekova G.T., Bejshenalieva S.T. i dr., *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2018, No. 42, pp. 207–217. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*Н.П. Буряков,* доктор биологических наук
*М.А. Бурякова,* кандидат сельскохозяйственных наук
*И.К. Медведев,* аспирант кафедры кормления животных
*А.П. Олесюк,* доцент кафедры молочного и мясного скотоводства

**Contribution of the authors:**
*N.P. Buryakov,* Doctor of Biological Sciences
*M.A. Buryakova,* Candidate of Agricultural Sciences
*I.K. Medvedev,* postgraduate student of the Department of Animal Feeding
*A.P. Olesyuk,* Associate Professor of the Department of Dairy and Beef Cattle Breeding

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-241-248
УДК 636.4.02.265

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И ПРОДУКТИВНОСТЬ ХРЯКОВ ЗАРУБЕЖНОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРИ АККЛИМАТИЗАЦИИ В СИБИРИ

**К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, С.В. Папшев, Е.А. Борисенко**
*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
**E-mail:** zhuchaev-kv@mail.ru

**Для цитирования:** *Физиологический* статус и продуктивность хряков зарубежной селекции при акклиматизации в Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, С.В. Папшев, Е.А. Борисенко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 241–248. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-241-248.

**Ключевые слова:** акклиматизация, биохимические показатели крови, гормональный статус, спермопродукция, хряки.

**Реферат.** *Целью исследования было изучение влияния акклиматизации на показатели физиологического статуса завезенных из-за рубежа фенотипически здоровых хряков селекции PIC в условиях промышленного комплекса. Проведена оценка биохимических показателей сыворотки крови хряков в возрасте 5 мес. при завозе и спустя 2 мес., а также показателей спермопродукции в возрасте 1,5 года. Высокий уровень кортизола в сыворотке крови хряков (92,3 нмоль/л) при завозе отражал проявление акклиматизационного стресса. По окончании акклиматизационного периода наблюдалось статистически значимое снижение этого показателя (80,5 нмоль/л). Вместе с тем зарегистрированы разнонаправленные изменения содержания гормонов щитовидной железы: отмечен рост уровня трийодтиронина и тенденция снижения тироксина в сыворотке крови. Показатели биохимического статуса хряков зарубежной селекции при завозе в основном находились в референсных границах, установленных другими авторами. Однако в начале акклиматизации животные характеризовались меньшим содержанием общего белка в сыворотке крови ($P < 0,001$) в сравнении с постадаптационным периодом. После карантина у всех хряков зарегистрировано повышение содержания общего белка (на 42 %), альбумина и хлоридов (на 47 %), фосфора (на 61 %). В зависимости от начального содержания сывороточного кортизола хряки были отнесены в группы условно устойчивых (группа 1-я) и восприимчивых (группа 2-я). При этом уровень кортизола во второй группе (126,0 нмоль/л) был в 2 раза выше, чем в первой группе (61,3 нмоль/л). В конце акклиматизационного периода показатели в группах выровнялись. Показатели спермопродукции хряков обеих групп находились в пределах референсных значений, установленных другими авторами, что показывает отсутствие влияния индивидуальных различий по реакции на акклиматизационный стресс на последующую спермопродукцию хряков.*

# PHYSIOLOGICAL STATUS AND PRODUCTIVITY OF BOARS OF FOREIGN BREEDING DURING ACCLIMATIZATION IN SIBERIA

**K.V. Zhuchaev, M.L. Kochneva, S.V. Papshev, E.A. Borisenko**
*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
**E-mail:** zhuchaev-kv@mail.ru

**Keywords:** acclimatization, biochemical parameters of blood, hormonal status, sperm production, boars.

**Abstract**. *The aim of the study was to investigate the effect of acclimatization on the physiological status indices of phenotypically healthy boars of PIC selection imported from abroad in the conditions of an industrial complex. The biochemical indices of the blood serum of boars aged 5 months upon import and 2 months later, as well as the indices of sperm production at the age of 1,5 years were assessed. The high level of cortisol in the blood serum of boars (92.3 nmol/l) upon import reflected the manifestation of acclimatization stress. At the end of the acclimatization period, a statistically significant decrease in this index was observed (80.5 nmol/l). At the same time, multidirectional changes in the content of thyroid hormones were registered - an increase in the level of triiodothyronine and a tendency to decrease thyroxine in the blood serum were noted. The indicators of the biochemical status of boars of foreign breeding during import were mainly within the reference limits established by other authors. However, at the beginning of acclimatization, the animals were characterized by a lower content of total protein in the blood serum of imported animals ($P < 0.001$) compared with the post-adaptation period. After quarantine, all boars showed an increase in the content of total protein (by 42 %), albumin and chlorides*

*(by 47 %), phosphorus (by 61 %). Depending on the initial serum cortisol content, the boars were classified into groups of conditionally stable (group 1) and susceptible (group 2). The cortisol level in the second group (126.0 nmol/l) was 2 times higher than in the first group (61.3 nmol/l). At the end of the acclimatization period, the indices in the groups leveled off. The indices of sperm production of boars in both groups were within the reference values established by other authors, which shows the absence of the influence of individual differences in the reaction to acclimatization stress on subsequent sperm production of boars.*

Использование импортного поголовья животных является эффективным фактором повышения интенсивности животноводства и решения проблемы продовольственной безопасности. В то же время недооценка процессов акклиматизации, происходящих при завозе поголовья в сибирский регион, может привести к серьезным последствиям. Изменения климата (температурный стресс) [1, 2], условий содержания, кормления и обслуживающего персонала (технологические стрессоры) [3] ослабляют резистентность организма, неблагоприятно влияют на воспроизводительные качества. Стрессы могут в значительной степени через эндокринную систему влиять на иммунитет [4], биохимический и гематологический статус [5, 6], здоровье и продуктивность животных [7].

Особый акцент следует сделать на эффекте стресса на молодые организмы, поскольку он может быть причиной необратимых изменений в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, отвечающей за адаптацию организма, что в конечном итоге может вызывать депрессии во взрослом состоянии [8].

Цель исследований заключалась в изучении акклиматизационного стресса и его влияния на качество спермопродукции импортированных хряков.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На группе завезенных из-за рубежа ремонтных хряков селекции PIC (23 головы) в условиях промышленного комплекса изучалось влияние акклиматизации на показатели физиологического статуса фенотипически здоровых животных. Первая оценка проведена при завозе хряков в возрасте 5 мес., вторая – в 7 мес. Забор крови осуществляли в утренние часы до кормления в вакуумные пробирки для исследований сыворотки. Содержание и кормление хряков в период карантина и после соответствовало принятым нормам.

Исследование биохимического статуса хряков проведено на автоматическом многофункциональном анализаторе Statfax. Панель биохимических тестов (стандартные наборы реагентов Вектор-Бест) включала оценку содержания общего белка, альбумина, глобулина, триглицеридов, фосфора, хлоридов. Уровни кортизола (набор реагентов Кортизол-ИФА-БЕСТ), тироксина (набор реагентов Т4 общий-ИФА-БЕСТ), трийодтиронина (набор реагентов Т3 общий-ИФА-БЕСТ), тестостерона (набор реагентов Тестостерон-ИФА-БЕСТ) исследовали в сыворотке крови свиней иммуноферментным методом на анализаторе АИФР-01 УНИПЛАН (Пикон, Россия) в лаборатории адаптации и благополучия животных Новосибирского государственного аграрного университета.

В зависимости от уровня сывороточного кортизола хряков при постановке на карантин были сформированы две группы: условно устойчивые к стрессу (группа 1-я), у которых содержание кортизола было ниже среднего значения 92,26 нмоль/л по всем исследованным животным и условно чувствительные к стрессу (группа 2-я), у которых содержание было выше среднего.

В возрасте 1,5 года у хряков были оценены показатели спермопродукции: объем эякулята, концентрация спермиев, подвижность спермиев, количество доз.

Статистическая обработка данных проведена с использованием ПП Excel. Полученные данные обработаны методами описательной статистики и протестированы на соответствие нормальному распределению методом Андерсона–Дарлинга. Оценены коэффициенты корреляции Пирсона между изученными показателями сыворотки крови, спермопродукции. Межгрупповые или внутригрупповые сравнения осуществляли с помощью двухвыборочного *t*-критерия для независимых или зависимых выборок соответственно. Референтные значения показателей крови и спермопродукции животных вычисляли в виде доверительных границ $\bar{X} \pm 2s$.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Повышенный уровень кортизола в сыворотке крови хряков при завозе был очевидным следствием акклиматизационного стресса, хотя только у одного животного значение выходило за пределы границ данных, установленных другими авторами (табл. 1). Через 2 мес. после завоза отмечено сужение в 1,4 раза референсных границ этого показателя.

*Таблица 1*

**Уровень гормонов в сыворотке крови ремонтных хряков**
**Hormone levels in the blood serum of repair boars**

| Показатель | При завозе | | Через 2 мес. после завоза | | Данные других авторов [9–11] |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Референсные значения | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Референсные значения | |
| Кортизол, нмоль/л | 92,3±8,1 | 13,7–178,7 | 80,5±5,4 | 23,2–137,9 | 66,6–149,0 |
| Трийодтиронин, нмоль/л | 2,3±0,1 | 1,3–3,3 | 3,1±0,2** | 0,6–5,6 | 1,4–2,2 |
| Тироксин, нмоль/л | 44,2±1,9 | 33,0–66,7 | 43,6±1,9 | 23,1–64,0 | 28,0–58,6 |
| Отношение Т3/Т4×100 | 5,3±0,2 | 3,5–7,1 | 7,4±0,6*** | 1,2–13,5 | 2,5–4,0 |

Здесь и далее: статистически значимые различия между группами * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

В конце периода акклиматизации наблюдалась тенденция снижения уровня кортизола на фоне разнонаправленных изменений уровня гормонов щитовидной железы, при этом наблюдался статистически значимый рост содержания трийодтиронина и несущественное снижение тироксина в сыворотке крови.

Отношения Т3 к Т4 в оба периода исследования выше данных других авторов. Через 2 мес. после завоза этот показатель статистически значимо возрос на 38 % ($P < 0,001$) за счет роста уровня трийодтиронина.

Анализ показал, что биохимические показатели у хряков зарубежной селекции при завозе на свинокомплекс в большинстве случаев не входили в интервалы данных других авторов (табл. 2). Так, в начальный период акклиматизации наблюдается пониженное содержание общего белка и, соответственно, альбуминовой и глобулиновой фракций белка в сыворотке крови импортированных животных ($P < 0,001$) в сравнении с постадаптационным периодом.

*Таблица 2*

**Биохимические показатели сыворотки крови хряков в разные периоды исследований**
**Biochemical parameters of boar blood serum in different study periods**

| Показатель | При завозе | | Через 2 мес. после завоза | | Данные других авторов [9, 12, 13] |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Референсные значения | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Референсные значения | |
| Общий белок, г/л | 43,5±1,4 | 32,0–61,4 | 75,0±1,8*** | 55,6–94,5 | 70,0–85,0 |
| Альбумины, г/л | 23,8±0,9 | 17,6–35,1 | 45,8±1,6*** | 28,5–63,2 | 31,0 – 45,0 |
| Глобулины, г/л | 19,7±0,9 | 10,1–29,5 | 29,2±1,7*** | 10,5–47,9 | 40,0–52,0 |
| Белковый индекс, усл. ед. | 1,3±0,1 | 0,7–2,4 | 1,6±0,1* | 0,4–2,7 | 0,8–1,0 |
| Триглицериды, ммоль/л | 0,3±0,01 | 0,13–0,40 | 0,44±0,02*** | 0,24–0,65 | 0,22–1,42 |
| Фосфор, ммоль/л | 1,4±0,03 | 1,1–1,7 | 3,7±0,2*** | 1,3–6,1 | 1,29–1,94 |
| Хлориды, ммоль/л | 53,4±1,1 | 41,4–65,4 | 100,7±2,7*** | 71,7–129,7 | 107,1–112,2 |

Уровень триглицеридов при завозе практически у всех животных соответствовал нижней границе нормы, но в послеакклиматизационный период возрос в 1,6 раза ($P < 0,001$).

По окончании периода акклиматизации средние показатели содержания холестерина, глюкозы и мочевины в сыворотке крови у хряков входили в границы значений, установленных другими авторами [9, 13].

Животные в зависимости от исходного уровня сывороточного кортизола были выделены в группы условно устойчивых (группа 1-я) и восприимчивых (группа 2-я) для анализа динамики их гормонального и биохимического статусов. При этом средний уровень кортизола во второй группе был в 2 раза выше, чем в первой группе ($P < 0,001$) (табл. 3).

*Таблица 3*

**Гормональный профиль хряков в связи с реакцией на акклиматизацию**
**Hormonal profile of boars in connection with the reaction to acclimatization**

| Показатель | Группа при завозе | | Группа через 2 мес. после завоза | | Данные других авторов [9–11, 15] |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1-я | 2-я | 1-я | 2-я | |
| Кортизол, нмоль/л | 61,3±6,6 | 126,0±5,6** | 76,5±12,1 | 90,2±8,5 | 66,6–149,0 |
| Трийодтиронин, нмоль/л | 2,2±0,05 | 2,5±0,19 | 3,3±0,40 | 2,8±0,30 | 1,43–2,23 |
| Тироксин, нмоль/л | 44,3±2,7 | 44,0±2,7 | 40,7±2,7 | 48,0±3,2 | 28,0–58,6 |
| Тестостерон, нмоль/л | 4,2±0,7 | 3,3±0,5 | 6,1±0,7 | 6,9±0,8 | 6,4–7,4 |
| Отношение Т3/Т4×100 | 5,1±0,3 | 5,6±0,2 | 8,7±0,9 | 5,7±0,6 | 2,5–3,9 |

Через два месяца показатели в группах выровнялись. Среди условно восприимчивых хряков установлено снижение уровня сывороточного кортизола в среднем на 57,4 % после карантина до референсных значений. Отмечены индивидуальные различия с противоположными направлениями изменений у двух хряков: с незначительным снижением и фиксацией показателя на уровне выше среднего значения по группе и, с другой стороны, с сохранением повышенного уровня кортизола и приростом на 22 % на фоне снижения содержания других гормонов. Уровень полового гормона (тестостерона) в начале карантина был ниже референсных значений, однако спустя 2 мес. отмечена его выработка до показателей, сопоставимых с данными других авторов [15].

После карантина у всех животных отмечено повышение содержания общего белка (в среднем на 42 %), альбумина и хлоридов (в среднем на 47 %), фосфора (в среднем на 61 %). Установленные значения находились в границах показателей, определенных у здоровых хряков другими авторами [12, 13], т. е. находились в пределах физиологической нормы (табл. 4).

*Таблица 4*

**Метаболический профиль ремонтных хряков в связи с реакцией на акклиматизацию**
**The metabolic profile of repair boars in relation to the acclimatization response**

| Показатель | Группа при завозе | | Группа через 2 мес. после завоза | | Данные других авторов [9, 12, 13] |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1-я | 2-я | 1-я | 2-я | |
| Общий белок, г/л | 45,6±2,2 | 42,3±1,6 | 78,8±3,0 | 71,9±2,8 | 70,0–85,0 |
| Альбумины, г/л | 26,1±1,7 | 22,2±0,7 | 46,3±2,3 | 46,5±2,9 | 31,0–45,0 |
| Глобулины, г/л | 19,5±1,1 | 20,1±1,20 | 32,6±3,5 | 25,4±1,9 | 35,0–52,0 |
| Белковый индекс, усл. ед. | 1,4±0,1 | 1,1±0,08 | 1,6±0,2 | 1,99±0,23 | 0,8–1,0 |
| Триглицериды, ммоль/л | 0,24±0,01 | 0,35±0,08 | 0,43±0,02 | 0,43±0,03 | 0,22–1,42 |
| Фосфор, ммоль/л | 1,4±0,07 | 1,4±0,04 | 3,9±0,3 | 4,2±0,6 | 1,29–1,94 |
| Хлориды, ммоль/л | 52,8±1,10 | 52,0±1,50 | 101,9±4,7 | 102,5±2,4 | 107,1–112,2 |

Характер изменений биохимического профиля хряков в процессе акклиматизации различался в группах. У хряков из группы условно восприимчивых к стрессу уровень глобулинов в 54 % случаев вырос в среднем на 40 %, у четверти животных этот рост не превышал 14 %, а у 18 % свиней наблюдалось снижение в среднем на 47 %. В группе условно устойчивых животных у всех зарегистрировано возрастание содержания глобулинов за исключением одного хряка. Следует отметить, что содержание глобулиновой фракции белка в сыворотке крови хряков как при завозе, так и через два месяца акклиматизации было ниже данных, установленных в других исследованиях [9, 13]. Исключение составили показатели содержания общего белка и его фракций у двух хряков из 1-й группы, которые соответствовали физиологической норме.

Показатель жирового обмена (уровень триглицеридов) у свиней 1-й группы при постановке на карантин находился на нижней границе референсных значений, у хряков 2-й группы отмечен

несколько более высокий уровень. После акклиматизации наблюдалось выравнивание групп по этому биохимическому показателю.

Оценка воспроизводительных качеств хряков показала, что показатели их спермопродукции характеризовались достаточно высокими значениями, близкими к верхней границе интервалов, установленных другими авторами (табл. 5). Это может свидетельствовать об успешной акклиматизации импортированных животных в молодом возрасте. Различий между группами хряков с разным уровнем кортизола при постановке на карантин не выявлено.

*Таблица 5*

**Показатели спермопродукции проверяемых хряков в возрасте 1,5 года**
**Sperm production indicators of the tested boars at the age of 1.5 years**

| Показатель | Группа | | Данные других авторов [16, 17] |
|---|---|---|---|
| | 1-я | 2-я | |
| Объем эякулята, мл | 352,7±75,0 | 299,6±27,0 | 245,0–316,0 |
| Концентрация спермиев, млн/мл | 316,3±15,0 | 327,5±18,3 | 208,0–407,2 |
| Подвижность спермиев, балл | 7,4±0,200 | 7,5±0,100 | 6,50–9,30 |
| Количество доз | 20,2±1,10 | 22,0±0,900 | 7,00–57,5 |

Значительная вариабельность наблюдалась в группах по объему эякулята (Cv = 48,6 %), в то время как относительно стабильным был показатель подвижности спермиев (8,2 %). Коэффициент изменчивости концентрации спермиев и количества доз составил около 17 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Большое практическое значение имеет вопрос о степени влияния индивидуальных различий животных по реакции на транспортировку и акклиматизационный стресс на их последующую продуктивность.

Длительность процесса акклиматизации, по данным разных исследователей, варьируется от двух дней до нескольких недель [18], в течение которых, как правило, наблюдается снижение уровня кортизола, что отражает динамику уровня стресса.

За период краткосрочной адаптации в 37 и 51 % случаев у животных соответственно 1-й и 2-й групп зарегистрированы положительные тренды изменений биохимических показателей и содержания гормонов, которые характеризуются разнонаправленными вариациями показателей в пределах нормы или достижения нормативных значений. Снижение показателей в пределах нормы (отмечено по уровню кортизола). Тенденции изменений до нормы обнаружены по содержанию общего белка и его фракций, фосфора, хлоридов у всех животных в течение периода исследований.

Несмотря на известные значительные колебания уровня кортизола [11, 19] выявлены некоторые особенности по этому показателю выделенных групп хряков. Так, у условно восприимчивых к стрессу хряков происходило снижение исходного уровня в среднем на 50 %, оставаясь в нормативных пределах. У 33 % относительно устойчивых хряков зарегистрирована аналогичная тенденция снижения содержания гормона стресса. У остальных особей этой группы выявлен рост значений глюкокортикоида в среднем на 30 %, что привело к выравниванию групп по его среднему уровню.

Содержание трийодтиронина в группе восприимчивых хряков в большинстве случаев снижалось после прохождения периода акклиматизации, тогда как уровень тироксина возрастал. Обратная закономерность наблюдалась в другой группе исследованных животных. Гормоны щитовидной железы играют особую роль в контроле метаболизма, основных физиологических функций организма, определяющих показатели фертильности, продуктивности, энергетического обмена, жизнеспособности [20].

Анализ показал, что у импортированных хряков, как и в исследованиях, представленных в литературе [21], при постановке на карантин после перемещения в новые условия содержания наблюдался дисбаланс метаболического гомеостаза, характеризующийся существенно сниженным содержанием общего белка и его фракций в сыворотке крови на фоне повышенного уровня кортизола. В последующий адаптационный период отмечалось достижение относительной стабильности метаболического профиля у хряков по большинству исследованных показателей

биохимического и гормонального статуса, что, очевидно, способствовало достижению высоких показателей спермопродукции в сравнении с данными других исследователей [16, 17]. Статистически значимых различий по показателям спермопродукции хряков с разным уровнем кортизола при завозе не установлено. Отмечена тенденция превосходства условно устойчивых особей в сравнении с восприимчивыми по объему эякулята на фоне несущественного снижения концентрации спермиев.

## ВЫВОДЫ

1. Реакция ремонтных хряков на акклиматизационный стресс выражается в пониженных уровнях общего белка, альбуминов, глобулинов, хлоридов при завозе с последующим повышением этих показателей до уровня нормативных значений, а также в повышенной концентрации гормона стресса.

2. Соответствие показателей физиологического статуса хряков референсным значениям через два месяца после завоза на предприятие позволяет характеризовать их состояние как состояние адаптации.

3. Уровень стресса, зафиксированный в исследованиях, и индивидуальные различия ремонтных хряков по реакции на акклиматизационный стресс не оказывают существенного влияния на показатели их последующей спермопродукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Hereford* and Simmental cattle breeds in Siberia: implementation of the adaptive and productive potential in the cold climate / G.I. Ragimov, K.V. Zhuchaev, M.L. Kochneva [et al.] // Int. j. recent technol. eng. 2019. – № 8 (4). – P. 9631–9636. – DOI: 10.35940/ijrte.D9992.118419.
2. *Горб Н.Н., Гудков С.Н., Сороколетова В.М.* Влияние теплового стресса на оплодотворяемость и многоплодие свиноматок // Аграрный вестник Урала. – 2024. – № 24 (6). – С. 754–765. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-754-765.
3. *Гарская Н.А., Ткачев А.В.* Морфофункциональные особенности эритроцитов крови хряков в условиях эколого-технологического стресса и их влияние на лейкоцитарный состав крови // Генетика и разведение животных. – 2023. – № 4. – С. 23–35. – DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-23-35.
4. *Взаимосвязь* нервной, иммунной, эндокринной систем и факторов питания в регуляции резистентности и продуктивности животных / В.А. Галочкин, К.С. Остренко, В.П. Галочкина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – № 53 (4). – С. 673–686. – DOI: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus.
5. *Физиологический* статус лактирующих голштинских коров в условиях Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Е.А. Борисенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 4 (41). – С. 118–124. – EDN: XQOUEH.
6. *Гематологический* статус импортированных животных при адаптации / М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев, О.А. Иванова [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 4 (22). – С. 91–97. – EDN: YQHEJN.
7. *Влияние* кратковременного и длительного неконтролируемого стресса на животных доминантного и субординантного социального статуса с различным типом стрессорной реакции / В.В. Немец, В.И. Шмурак, В.Е. Соболев [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2019. – № 105 (5). – С. 608–618. – DOI: 10.1134/S0869813919050066.
8. *Новиков Е.А., Мошкин М.П.* Роль стресса в модификации онтогенетических программ // Успехи современной биологии. – 2009. – № 129 (3). – С. 227–238. – EDN: KMLPCT.
9. *Биохимический* статус и продуктивные качества свиней (Sus scrofa domesticus) при моделировании стресса и его коррекции / Р.В. Некрасов, Н.В. Боголюбова, К.С. Остренко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – № 58 (4). – Р. 638–659. – DOI: 10.15389/agrobiology.2023.4.638rus.
10. *Тиреоидный* статус свиней и его коррекция / В.А. Самсонович, А.И. Ятусевич, Н.С. Мотузко [и др.] // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины. – 2011. – № 47 (2). – С. 83–86. – EDN: SHRSBD.
11. *Джапаров Е.К., Дерхо М.А.* Кортизол и его взаимосвязи с лейкоцитами в организме хряков-производителей // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – № 239 (3). – С. 110–117. – DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-110-117.
12. *Белковый* обмен у свиней кемеровской породы / А.В. Назаренко, О.И. Себежко, В.А. Андреева [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 4. – С. 55–64. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-53-4-55-64.

13. *Панькова Е.К.* Биохимические показатели сыворотки крови свиней разных генотипов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (89). – С. 292–296. – DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-292-296.
14. *Weaning* stress in piglets alters the expression of intestinal proteins involved in fat absorption / Y. He, N. Liu, Y. Ji [et al.] // The Journal of Nutrition. – 2022. – Vol. 152 (11). – P. 2387–2395. – DOI: 10.1093/jn/nxac177.
15. *Еременко В.И., Титовский А.В., Суворова В.Н.* Функциональные эндокринные резервы семенников хряков разных пород и показатели их спермы // Генетика и разведение животных. – 2020. – № 4. – С. 80–84. – DOI: 10.31043/2410-2733-2020-4-80-84.
16. *Панькова Е.К., Полковникова В.И.* Результаты оценки хряков-производителей по качеству спермы и оплодотворяющей способности // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (73). – С. 250–253. EDN: YNDPXN.
17. *Третьякова О.Л., Дудник Ю.М., Степанова О.В.* Оценка хряков-производителей по спермопродукции // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (11). – С. 22–36. – EDN: SDWPER.
18. *Determination* of an acclimation period for swine in biomedical research/ A.R. Maxwell, N.J. Castell, J.K. Brockhurst [et al.] // J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci. – 2024. – Vol. 63 (6). – P. 651–654. – DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-24-047.
19. *Онтогенетические* особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Л.В. Осадчук [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4 (73). – С. 177–187. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-177-187.
20. *Ильина О.П.* Коррекция тиреоидного статуса и обмена энергии у коров с эндемическим зобом // Ветеринария. – 2000. – № 12. – С. 41–42. – EDN: FKMQGE.
21. *Полиморфизм* интерфазных ядрышкообразующих районов у импортированных свиней и их потомков / С.К. Бутеева, М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 2. – С. 41–43. – EDN: RWZZEL.

## REFERENSIS

1. Ragimov G.I., Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Gart V.V., Inerbaev B.O., Goncharenko G.M., Deeva V.S., Hereford and Simmental cattle breeds in Siberia: implementation of the adaptive and productive potential in the cold climate, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2019, Vol. 8, No. 4, pp. 9631–9636, DOI: 10.35940/ijrte.D9992.118419.
2. Gorb N.N., Gudkov S.N., Sorokoletova V.M., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2024, No. 24 (6), pp. 754–765, DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-754-765. (In Russ.)
3. 3. Garskaya N.A., Tkachev A.V., *Genetika i razvedenie zhivotnykh*, 2023, No. 4, pp. 23–35, DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-23-35. (In Russ.)
4. Galochkin V.A., Ostrenko K.S., Galochkina V.P.,Fedorova L.M., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2018, No. 53 (4), pp. 673–686, DOI: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus. (In Russ.)
5. Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Borisenko E.A., Bogdanova O.V., Rep'yuk D.V., Semenov A.A., Eilert A.I., Chubarova I.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2016, No. 4, pp. 118–124, EDN: XQOUEH. (In Russ.)
6. Kochneva M.L., Zhuchaev K.V., Ivanova O.A., Borisenko E.A., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, No. 4 (22), pp. 91–97, EDN: YQHEJN. (In Russ.)
7. Nemets V.V., Shmurak V.I., Sobolev V.E., Garnyuk V.V., Rovan E.D., Vinogradova E.P., *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2019, No. 105 (5), pp. 609, DOI: 10.1134/S0869813919050066. (In Russ.)
8. Novikov E.A., Moshkin M.P., *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2009, No. 129 (3), pp. 227–238, EDN: KMLPCT. (In Russ.)
9. Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Ostrenko K.S., Chabaev M.G., Kut'in I.V., Lakhonin P.D., Semenova A.A., Pchelkina V.A., Nasonova V.V., Loskutov S.I., Rykov R.A., Prytkov Yu.A., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2023, No. 58 (4), pp. 638–659, DOI: 10.15389/agrobiology.2023.4.638rus. (In Russ.)
10. Samsonovich V.A., Yatusevich A.I., Motuzko N.S., Bratushkina E.L., *Uchenye zapiski UO VGAVM,* 2011, No. 47 (2), pp. 83–86, EDN: SHRSBD. (In Russ.)
11. Dzhaparov E.K., Derkho M.A., *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. NEH Baumana*, 2019, No. 239 (3), pp. 110–117, DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-110-117. (In Russ.)
12. Nazarenko A.V., Sebezhko O.I., Andreeva V.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Romanenko M.A., Klimanova E.A., Saurbaeva R.T., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2019, No. 4, pp. 55–64, DOI: 10.31677/2072-6724-2019-53-4-55-64. (In Russ.)

13. Pan'kova E.K., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 3 (89), pp. 292–296, DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-292-296. (In Russ.)
14. He Y., Liu N., Ji Y., Tso P., Wu, Z., Weaning stress in piglets alters the expression of intestinal proteins involved in fat absorption, *The Journal of Nutrition*, 2022, Vol. 152 (11), pp. 2387–2395, DOI: https://doi.org/10.1093/jn/nxac177.
15. Eremenko V.I., Titovskii A.V., Suvorova V.N., *Genetika i razvedenie zhivotnykh*, 2020, No. 4. pp. 80–84, DOI: 10.31043/2410-2733-2020-4-80-84. (In Russ.)
16. Pan'kova E.K., Polkovnikova V.I., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 5 (73), pp. 250–253, EDN: YNDPXN. (In Russ.)
17. Tret'yakova O.L., Dudnik YU.M., Stepanova O.V., *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 1 (11), pp. 22–36, EDN: SDWPER. (In Russ.)
18. Maxwell A.R., Castell N.J., Brockhurst J.K., Hutchinson E.K., Izzi J.M., Determination of an Acclimation Period for Swine in Biomedical Research, *J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci.*, 2024. Vol. 63, No. 6, pp. 651–654, DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-24-047.
19. Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Osadchuk L.V., Papshev S.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 4 (73). pp. 177–187, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-177-187. (In Russ.)
20. Il'ina O.P., *Veterinariya*, 2000, No. 12, pp. 41–42, EDN: FKMQGE (In Russ.)
21. Kochneva M.L., Buteeva S.K., *Nauchnoe obozrenie*, 2015, No. 22, pp. 22–28, EDN: RWZZEL. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*К.В. Жучаев,* доктор биологических наук, профессор
*М.Л. Кочнева,* доктор биологических наук, профессор
*С.В. Папшев,* кандидат сельскохозяйственных наук
*Е.А. Борисенко,* кандидат биологических наук, доцент

**Contribution of the authors:**
*K.V. Zhuchaev,* Doctor of Biological Sciences, Professor
*M.L. Kochneva,* Doctor of Biological Sciences, Professor
*S.V. Papshev,* Candidate of Agricultural Sciences
*E.A. Borisenko,* Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-249-260
УДК 636.082.12:636.32/38.082.13

# ПРИМЕНЕНИЕ SNP-ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЦЕЛЕВОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ ПРИ ГЕНОТИПИРОВАНИИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ ПОРОДЫ РОССИЙСКИЙ МЯСНОЙ МЕРИНОС

**[1,2]А.Ю. Криворучко, [1]С.Н. Шумаенко, [1]А.А. Каниболоцкая, [1]А.В. Скокова, [1,2]Е.Ю. Сафарян, [1]О.А. Яцык**
*[1]Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск Ставропольского края, Россия*
*[2]Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия*
**E-mail:** dorohin.2012@inbox.ru

**Для цитирования:** *Применение* SNP-панелей для целевого секвенирования при генотипировании молодняка овец породы российский мясной меринос / А.Ю. Криворучко, С.Н. Шумаенко, А.А. Каниболоцкая, А.В. Скокова, Е.Ю. Сафарян, О.А. Яцык // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 249–260. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-249-260.

**Ключевые слова***:* овцы, панель локусов, генотипирование, AgriSeq, SNP.

**Реферат.** *Таргетное секвенирование является перспективным методом для генетических исследований в сельском хозяйстве. Он отличается высокой точностью, масштабируемостью и экономичностью и благодаря этим характеристикам становится важным инструментом для селекции, контроля качества и генетического анализа животных. Создание специализированных панелей локусов, таких как AgriSeq, позволяет фокусироваться на конкретных участках генома, таких как SNP, связанных с хозяйственно ценными признаками (например, мясная продуктивность), позволяющих селекционерам целенаправленно отбирать животных с желаемыми характеристиками. Это исключает случайность традиционных методов селекции, ускоряет процесс и повышает его точность за счет прямого воздействия на целевые гены. Панели разрабатываются с использованием биоинформационных инструментов, которые анализируют геномные данные и выбирают наиболее информативные SNP. Цель исследования заключается в изучении эффективности выявления и распространенности локусов из ранее предложенного набора SNP при обследовании новых поколений овец породы российский мясной меринос. Объектом исследования являлись бараны породы российский мясной меринос 2021 и 2022 гг. рождения в возрасте 12 мес. (n = 110). Разработанная нами панель локусов по технологии AgriSeq содержит 544 SNP, пригодных для оценки родства овец и 295 SNP, связанных с мясной продуктивностью животных. После корректировки первичного перечня локусов для генотипирования секвенированием у овец породы российский мясной меринос установили, что выбранные полиморфизмы могут быть информативны в течение достаточно длительного времени. Анализ результатов показал, что после модификации набора локусов панель для генотипирования секвенированием у баранчиков показала высокую эффективность выявления всех вариантов генотипов. Предложенная панель SNP-локусов соответствует требованиям российского законодательства для определения достоверности происхождения в племенных хозяйствах и позволяет обеспечить прозрачность и надежность генетической информации, что важно для сертификации племенных животных.*

# APPLICATION OF SNP-PANELS FOR TARGETED SEQUENCING IN GENOTYPING YOUNG SHEEP OF THE RUSSIAN MEAT MERINO BREED

**[1, 2]A.Yu. Krivoruchko, [1]S.N. Shumaenko, [1]A.A. Kanibolotskaya, [1]A.V. Skokova, [1, 2]E.Yu. Safaryan, [1]O.A. Yatsyk**
*[1]North Caucasus Federal Scientific Center, Mikhailovsk, Stavropol Krai, Russia*
*[2]North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*
**E-mail:** dorohin.2012@inbox.ru

**Keywords:** sheep, locus panel, genotyping, AgriSeq, SNP.

**Abstract.** *Targeted sequencing is a promising method for genetic research in agriculture It is highly accurate, scalable and cost-effective, and these characteristics make it an important tool for animal breeding, quality control and genetic analysis. The creation of specialized panels of loci, such as AgriSeq, allows focusing on specific regions of the genome, such as SNPs associated with economically valuable traits (e.g., meat production), allowing breeders to specifically select animals with desired characteristics. This eliminates the randomness of traditional breeding methods, speeds up the process and increases its accuracy due to direct action on target genes. Panels are developed using bioinformatics tools that analyze genomic data and select the most informative*

*SNPs. The aim of the study is to investigate the efficiency of detection and prevalence of loci from the proposed set of SNPs in the survey of new generations of Russian meat merino sheep breed. The object of the study was rams of the Russian meat merino breed born in 2021 and 2022 at the age of 12 months (n = 110). The developed panel of loci using AgriSeq technology contains 544 SNPs suitable for estimation of sheep parentage and 295 SNPs related to meat productivity of animals. After adjusting the list of loci for genotyping by sequencing in Russian meat merino sheep, it was found that the selected polymorphisms can be informative for a sufficiently long time. Analysis of the results showed that after modification of the set of loci, the panel for genotyping by sequencing in lambs showed high efficiency of detection of all variants of genotypes. The proposed panel of SNP loci meets the minimum requirements of the Russian legislation for determining the reliability of origin in breeding farms and will provide transparency and reliability of genetic information, which is important for certification of breeding animals. It is easy to use and can be implemented in breeding programs at the level of breeding farms and large farms.*

В зарубежной практике овцеводства анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) с использованием чипов различной плотности широко используются в различных программах геномной селекции из-за высокой точности [1] и коммерческой доступности [2]. Наиболее популярны для генотипирования овец чипы Illumina Ovine 50K BeadChip и Ovine 600K Beadchip [3], которые были разработаны с использованием геномных данных европейских и австралийских пород овец. Получаемые результаты с использованием чипов используются также для анализа генетического разнообразия, популяционной генетики и при полногеномном анализе ассоциаций (GWAS). Также данные о геноме животных, полученные с использованием микрочипов, могут быть использованы при разработке панелей для генотипирования и иметь широкое практическое применение в сельском хозяйстве [4]. Недостатком этой технологии является необходимость в дорогостоящем узкоспециализированном оборудовании, что ограничивает широкое использование в большинстве лабораторий молекулярно-генетической экспертизы.

Технология изучения генома, называемая генотипированием с помощью целевого (таргентного) секвенирования, получила широкое распространение в растениеводстве и животноводстве, в частности в скотоводстве, однако в овцеводстве только предпринимаются первые попытки создания наборов и внедрения этой технологии в практику [5]. Ранее проведенными исследованиями с использованием чипов высокой плотности и полногеномного анализа нами были выявлены локусы, связанные с различными хозяйственно ценными характеристиками у овец [6]. Полученные данные о частоте и распределении SNP и связи их с фенотипом являются основой для отбора маркеров при конструировании библиотек таргетного секвенирования. Большинство изученных характеристик ассоциированы с экономически значимыми признаками, такими как мясность, качество шерсти или количество молока. Некоторые выявленные участки генома связаны с фенотипическими изменениями, вызванными одомашниванием, например, наличие рогов, количество позвонков, тип питания, иммунитет и другие важные признаки [5, 7, 8]. Немаловажным во время дизайна чипа является отбор SNP, позволяющих уточнить достоверность происхождения и половую идентификацию. Однако каждая порода имеет уникальные геномные характеристики, отличающиеся от остальных пород, в том числе отечественных, которые могут быть связаны с продуктивностью, адаптацией к окружающей среде и другими специфичными для породы признаками [4, 5, 9, 10].

В отечественной практике уже разработаны панели локусов генотипирования для отдельных пород овец, таких как джалгинский меринос, однако, учитывая породные особенности, есть необходимость целового подхода и разработки наборов для всех пород, что могут позволить инновационные разработки в области генетики. Эта технология позволяет создавать и модифицировать специализированные панели для анализа генетических локусов, адаптированные под конкретные виды животных и даже породы, что делает её особенно востребованной в сельском хозяйстве [11–13]. Для таргетного секвенирования используются праймеры, специфичные к интересующим участкам генома. Это позволяет амплифицировать только те локусы, которые содержат необходимые SNP. После амплификации целевые участки секвенируются с использованием технологий NGS, таких как Illumina, Ion Torrent или Oxford Nanopore. Высокая точность и глубина покрытия позволяют надежно идентифицировать SNP. Полученные данные секвенирования обрабатываются с использованием специализированных программных комплексов для выявления SNP. Далее проводится непосредственный анализ

частоты встречаемости и другие исследования, позволяющие, в конечном итоге, разрабатывать панель для генотипирования [14, 15].

В целях разработки панели локусов для генотипирования секвенированием с использованием платформы AgriSeq на первом этапе исследований проводится отбор локусов, пригодных для оценки достоверности происхождения и хозяйственно полезных признаков у овец породы российский мясной меринос на основе данных, полученных с помощью ДНК-биочипов высокой плотности. Далее набор локусов подвергается коррекции в соответствии с требованиями к панелям [14, 18].

Цель настоящего исследования заключается в изучении эффективности выявления и распространенности локусов из предложенного набора SNP при обследовании новых поколений овец породы российский мясной меринос.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на базе лабораторий молекулярно-генетической экспертизы ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр».

Объектом исследования являлись бараны 2021 и 2022 гг. рождения в возрасте 12 мес. породы российский мясной меринос ($n$ = 110). Животные содержались в одинаковых хозяйственных условиях СПК «ПЛЕМЗАВОД ВТОРАЯ ПЯТИЛЕТКА» Ипатовского района Ставропольского края, они были клинически здоровы и получали смешанный рацион [13].

Генотипирование секвенированием осуществлялось в два этапа:

I этап. Проведение генотипирования особей, рожденных в 2021 г., с использованием исходной панели SNP-маркеров и последующий анализ полученных данных.

II этап. Генотипирование животных 2022 г. рождения на основе модифицированной панели, включающей откорректированный набор локусов. На этом этапе исключались SNP с низкой частотой встречаемости, а оставшиеся маркеры были отобраны с учетом их приближения к средней частоте аллелей ~0,3 [13, 16, 17].

Подготовку образцов ДНК и генотипирование секвенированием нового поколения с последующими критериями анализа и отбора локусов проводили по ранее описанной методике [13, 16, 17].

Генетический и статистический анализ проводили с использованием электронных таблиц Excel 2021 (Microsoft, США). Для картирования и номенклатурного наименования SNP использовали сборку генома Ovis_Aries_3.1 [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используемый для оценки набор локусов включал в себя 295 замен, влияющих на продуктивные качества у породы российский мясной меринос и 544 полиморфизмов, пригодных для подтверждения достоверности происхождения.

В результате анализа генотипирования, проведенного по полиморфизмам, используемым для установления достоверности происхождения, установили, что средний показатель частоты встречаемости диких гомозиготных аллелей оказался ниже рекомендуемого уровня 0,3 (табл. 1).

*Таблица 1*

**Параметры SNP для подтверждения достоверности происхождения у баранов породы российский мясной меринос с использованием биочипов**
**SNP parameters for confirming the authenticity of the origin of Russian Merino sheep using biochips**

| Показатель | Среднее | Ошибка среднего | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---|---|---|---|---|
| Частота встречаемости диких гомозигот | 0,256 | 0,024 | 0,212 | 0,391 |
| Частота встречаемости гетерозигот | 0,383 | 0,028 | 0,274 | 0,510 |
| Частота встречаемости мутантных гомозигот | 0,294 | 0,026 | 0,189 | 0,431 |
| Частота дикого аллеля | 0,553 | 0,091 | 0,36 | 0,69 |
| Частота мутантого аллеля | 0,447 | 0,073 | 0,31 | 0,64 |

Встречаемость диких гомозиготных аллелей в среднем составила 0,256. При этом частота встречаемости имела достаточно большой разброс показателей: от 0,21 до 0,39. Важно отметить, что наибольшее количество замен имели частоту встречаемости около 0,21 и 0,33 (рис. 1).

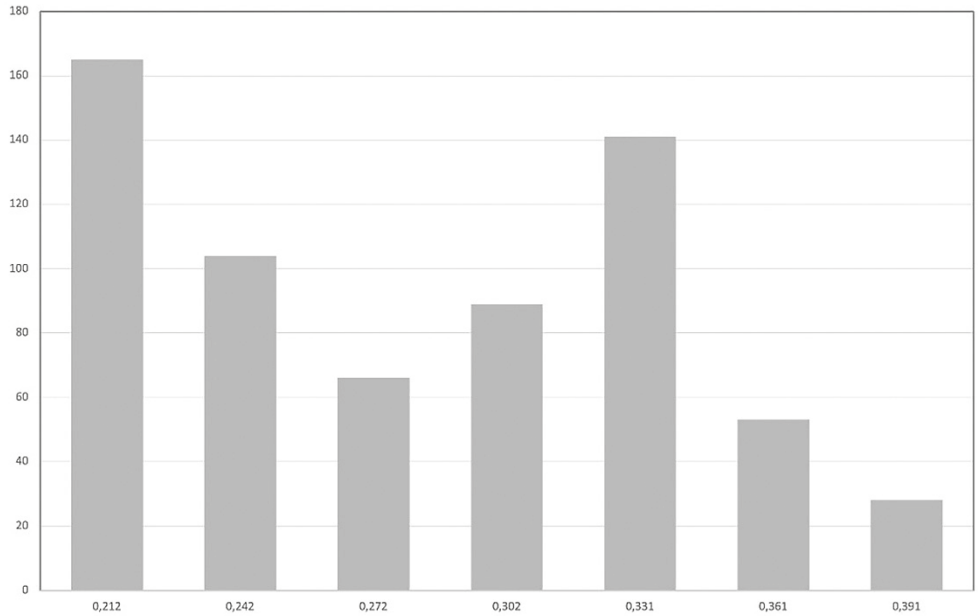



*Рис. 1.* Количество SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Дикие гомозиготные генотипы (ось *x* – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Wild homozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

Минимальное количество полиморфизмов наблюдалось вблизи максимума, частоты 0,39. Гетерозиготные варианты полиморфизмов имели слишком высокую частоту встречаемости, около 0,38 (рис. 2). Также этот вариант генотипа показал большую вариабельность частоты встречаемости. Минимальная частота составила 0,27, а максимальная превышала 0,5. Стоит отметить, что наибольшее количество замен имели частоту встречаемости около 0,39. Наименьшее количество полиморфизмов было зафиксировано при частотах 0,31 и 0,47 (см. рис. 2).

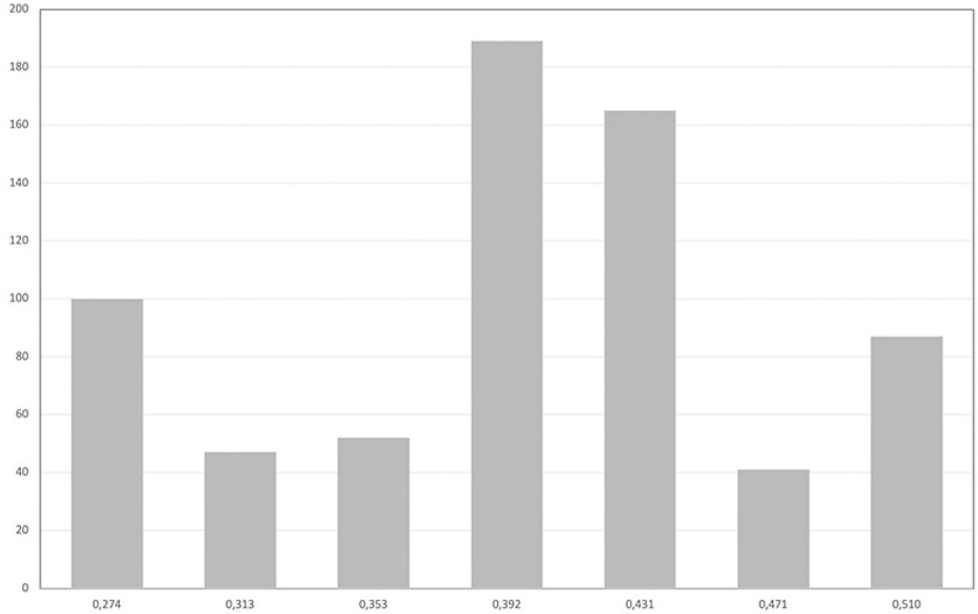



*Рис. 2.* Количество SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Гетерозиготные генотипы (ось *x* – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Heterozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

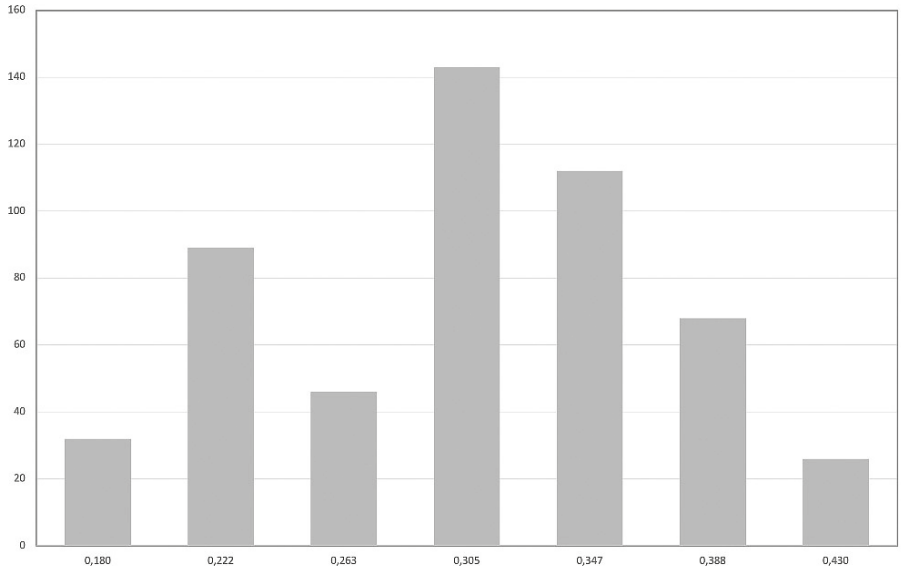



*Рис. 3.* Количество SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Мутантные гомозиготные генотипы (ось *x* – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Mutant homozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

Среди всех изученных генотипов только мутантные гомозиготы демонстрировали среднюю частоту встречаемости, приближенную к оптимальному значению 0,29. При этом вариативность частоты была значительной: минимальные значения наблюдались при 0,19, а максимальные – при 0,43. Наибольшее количество замен было выявлено при частоте 0,305 (рис. 3). Наименьшее число полиморфизмов отмечалось на границах диапазона: 0,18 и 0,43.

Исследование данных генотипирования методом секвенирования у овец породы российский мясной меринос по локусам, ассоциированным с мясной продуктивностью, показало, что средняя частота встречаемости диких гомозиготных аллелей не достигала требуемого уровня и составила 0,26 (табл. 2).

*Таблица 2*

**Параметры генотипируемых SNP для оценки мясной продуктивности у баранов породы российский мясной меринос**

**Parameters of genotyped SNPs for assessing meat productivity in Russian Meat Merino rams**

| Показатель | Среднее | Ошибка среднего | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---|---|---|---|---|
| Частота встречаемости диких гомозигот | 0,258 | 0,018 | 0,124 | 0,501 |
| Частота встречаемости гетерозигот | 0,297 | 0,016 | 0,152 | 0,491 |
| Частота встречаемости мутантных гомозигот | 0,461 | 0,022 | 0,061 | 0,714 |
| Частота дикого аллеля | 0,465 | 0,06 | 0,19 | 0,71 |
| Частота мутантого аллеля | 0,535 | 0,07 | 0,29 | 0,81 |

Также для диких гомозигот был показан большой интервал разброса частоты встречаемости полиморфизмов: от 0,12 до 0,5. Наибольшее количество полиморфизмов было отмечено с частотой встречаемости около 0,12 и 0,38 (рис. 4).

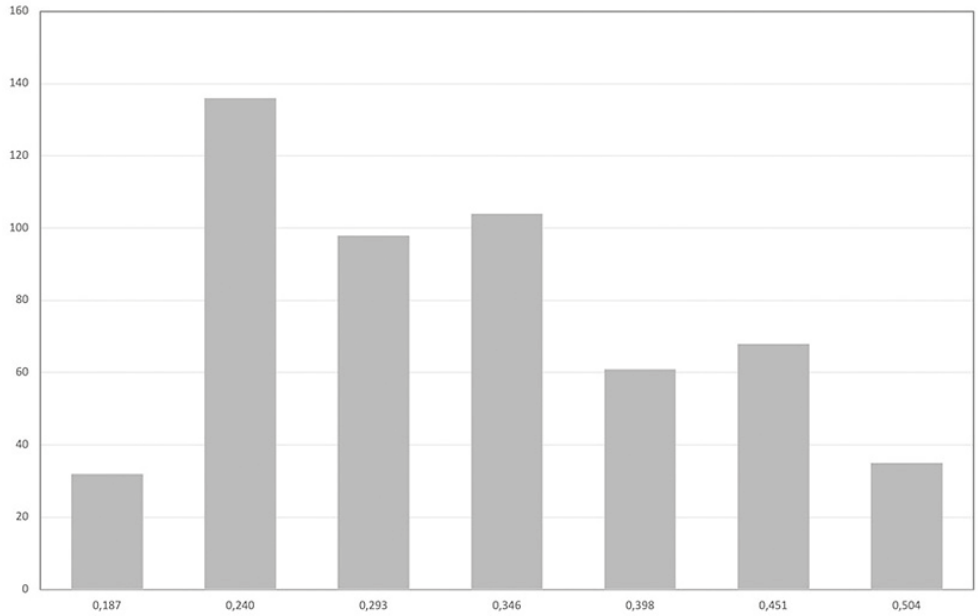



*Рис. 4.* Количество связанных с мясной продуктивностью SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Дикие гомозиготные генотипы (ось *x* – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs associated with meat productivity with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Wild homozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

Меньше всего замен показали частоту встречаемости около 0,5. Гетерозиготные варианты исследуемых локусов российского мясного мериноса имели среднюю частоту встречаемости, близкую к оптимальной – 0,297. При этом разброс частоты для отдельных локусов был достаточно большим: от 0,15 до 0,49. Пики количества полиморфизмов были отмечены для частоты встречаемости 0,265 и 0,378 (рис. 5)

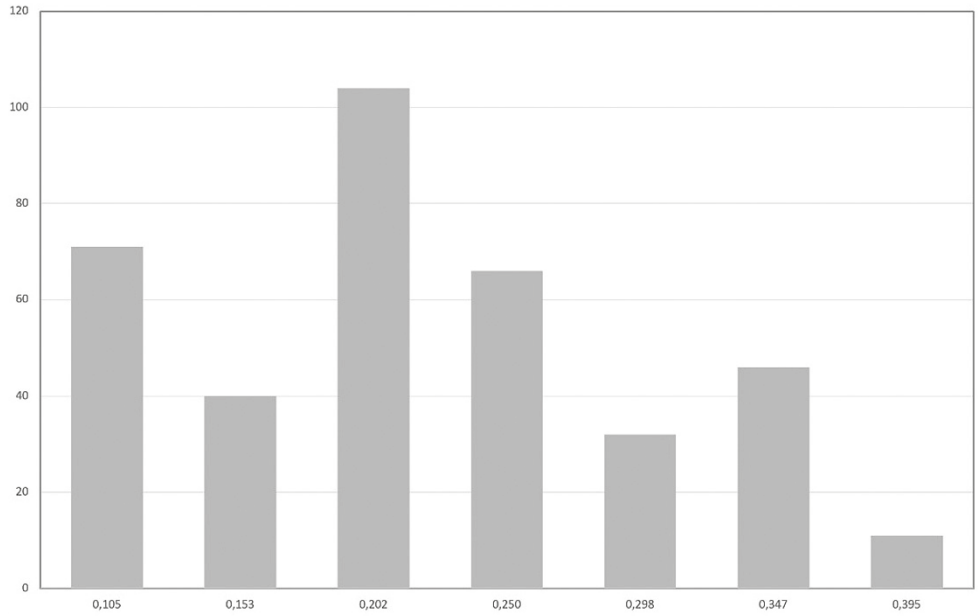



*Рис. 5.* Количество связанных с мясной продуктивностью SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Гетерозиготные генотипы (ось x – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs associated with meat productivity with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Heterozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

Наименьшее количество замен было обнаружено при частотах 0,15 и 0,49. Средний показатель частоты встречаемости мутантных гомозигот оказался в 1,5 раза выше рекомендуемого значения. Для данного генотипа также наблюдался наибольший разброс частот встречаемости отдельных локусов, варьирующийся от 0,06 до 0,71. Наибольшее число полиморфизмов мы обнаружили при частотах 0,28 и 0,38 (рис. 6). Минимум количества полиморфизмов находился на частотах встречаемости около 0,06.

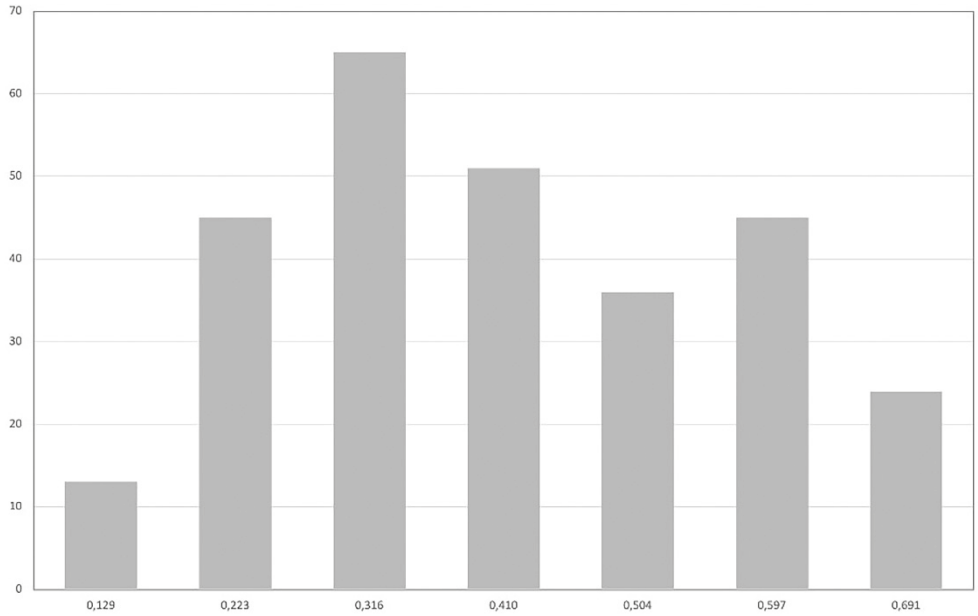



*Рис. 6.* Количество связанных с мясной продуктивностью SNP с разной частотой встречаемости у баранов породы российский мясной меринос. Мутантные гомозиготные генотипы (ось *x* – частота встречаемости, ось *y* – количество полиморфизмов)

Number of SNPs associated with meat productivity with different frequencies of occurrence in Russian Meat Merino rams. Mutant homozygous genotypes (x-axis – frequency of occurrence, y-axis – number of polymorphisms)

Оценка изменения частоты встречаемости отдельных полиморфизмов у баранов, генотипированных секвенированием, по сравнению с результатами предыдущих исследований с помощью ДНК-биочипов и первичного отбора маркеров [18] показала, что средний показатель для диких гомозигот составил 14 % (табл. 3).

*Таблица 3*

**Изменение частоты встречаемости SNP у баранов породы российский мясной меринос по сравнению с данными генотипирования на ДНК-биочипах, %**
**Change in the frequency of SNP occurrence in Russian Merino rams compared to genotyping data on DNA biochips, %**

| Показатель | Среднее | Ошибка среднего | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---|---|---|---|---|
| Изменение частоты встречаемости диких гомозигот | 14,331 | 0,91 | 0,132 | 27,275 |
| Изменение частоты встречаемости гетерозигот | 13,241 | 1,22 | 0,021 | 26,825 |
| Изменение частоты встречаемости мутантных гомозигот | 16,423 | 1,78 | 0,049 | 49,187 |

При этом минимальное изменение составляло 0,13 %, а максимальное – 27,3 %. Примерно такое же изменение частоты встречаемости в среднем показали и гетерозиготные варианты исследуемых генотипов. Минимальное изменение частоты встречаемости в этой группе составило 0,02 %, что соответствует практически полному отсутствию изменений. Самое большое изменение в

частоте встречаемости было около 27 %, такое же, как и у диких гомозигот. Мутантные гомозиготные генотипы в среднем показали примерно такое же изменение частоты встречаемости, в среднем составившее 16,4 %. Но для этого варианта генотипов зафиксирован максимальный разброс в индивидуальных показателях изменения частоты встречаемости. Минимально он был 0,05 % (практически частота не изменилась), а максимум составил почти 50 %, что, конечно, является очень существенным изменением) (см. табл. 3). В целом модифицированный набор локусов можно считать достаточно эффективным для использования при генотипировании секвенированием овец породы российский мясной меринос.

Модификация SNP-панели для генотипирования овец российский мясной меринос: отбор маркеров и проверка эффективности на животных 2022 г. рождения.

Редактирование набора локусов в составе панели генотипирования секвенированием для российского мясного мериноса затронуло только замены, используемые для оценки достоверности происхождения. В результате формирования панели для генотипирования секвенированием у овец породы российский мясной меринос и валидации новой панели у поколения 2022 г. рождения из нее был исключен комплекс из 84 локусов. Отбор проводили по принципу, описанному в работе Tortereau F. (2017). Исключались полиморфизмы с частотой встречаемости диких или мутантных гомозигот < 0,2, так как они обладают низкой информативностью для анализа родства и селекции. Оптимальной считалась частота аллелей ~0,3, обеспечивающая баланс между полиморфизмом и стабильностью маркера в популяции. Удалялись SNP, у которых изменение частоты встречаемости между поколениями 2021 и 2022 гг. превышало 15–20 %, что указывает на их нестабильность в геноме породы. Таким образом, дальнейшему анализу подверглись 460 замен.

*Таблица 4*

**Параметры генотипируемых для подтверждения достоверности происхождения SNP у баранов породы российский мясной меринос 2022 года рождения**
**Parameters genotyped to confirm the authenticity of the origin of SNP in rams of the Russian meat merino breed born in 2022**

| Показатель | Среднее | Ошибка среднего | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---|---|---|---|---|
| Частота встречаемости диких гомозигот | 0,279 | 0,029 | 0,256 | 0,372 |
| Частота встречаемости гетерозигот | 0,361 | 0,036 | 0,281 | 0,468 |
| Частота встречаемости мутантных гомозигот | 0,307 | 0,022 | 0,249 | 0,386 |
| Частота дикого аллеля | 0,52 | 0,091 | 0,38 | 0,64 |
| Частота мутантого аллеля | 0,48 | 0,073 | 0,36 | 0,62 |

При генотипировании баранов породы российский мясной меринос для полиморфизмов, используемых с целью оценки достоверности происхождения, средняя частота встречаемости диких гомозиготных вариантов составляла около 0,28 (табл. 4). Минимальный показатель частоты встречаемости для такого варианта генотипа составил 0,26, а максимум был зафиксирован на уровне 0,37. Такие параметры указывают на хорошую информативность генотипирования по выбранным локусам, так как средний показатель стремится к 0,3. Средняя частота встречаемости гетерозиготных генотипов по исследуемым заменам составила 0,37 при минимальном показателе 0,28 и максимуме 0,47. Разброс параметров для гетерозигот был относительно велик, но то, что среднее по группе находится в допустимых пределах для такого варианта генотипа, позволяет сделать заключение о хорошем результате выбора замен для генотипирования. Мутантные гомозиготные варианты замен у российского мясного мериноса показали оптимальную среднюю частоту встречаемости, составившую 0,3. Разброс индивидуальных показателей частоты был почти таким же, как у диких гомозигот и составил диапазон от 0,25 до 0,39.

Результаты анализа генотипирования по полиморфизмам, ассоциированным с мясной продуктивностью у овец породы российский мясной меринос 2022 года рождения, продемонстрировали (табл. 5), что средняя частота встречаемости диких гомозиготных аллелей достигла 0,28, что на 8 % превышает аналогичные показатели у животных 2021 года рождения.

*Таблица 5*

**Параметры генотипируемых SNP для оценки мясной продуктивности баранов породы российский мясной меринос 2022 года рождения**
**Parameters of genotyped SNPs for assessing meat productivity of Russian Meat Merino rams born in 2022**

| Показатель | Среднее | Ошибка среднего | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---|---|---|---|---|
| Частота встречаемости диких гомозигот | 0,281 | 0,016 | 0,186 | 0,405 |
| Частота встречаемости гетерозигот | 0,328 | 0,024 | 0,169 | 0,428 |
| Частота встречаемости мутантных гомозигот | 0,379 | 0,027 | 0,094 | 0,582 |
| Частота дикого аллеля | 0,48 | 0,04 | 0,28 | 0,69 |
| Частота мутантого аллеля | 0,52 | 0,09 | 0,31 | 0,72 |

Средний показатель частоты встречаемости гетерозиготных генотипов возрос с 0,3 до 0,32. При этом мутантные гомозиготы стали встречаться на 18 % реже в сравнении с данными по животным 2021 года рождения. Средняя частота каждого из аллелей осталась практически неизменной, сохраняясь на уровне около 0,5. Хотя минимальные и максимальные значения частот аллелей несколько изменились, их соотношение осталось близким к результатам предыдущего этапа генотипирования.

Таким образом, результаты генотипирования секвенированием российских мясных мериносов показали, что выбранная панель локусов удовлетворительно справляется с поставленной задачей по выявлению полиморфизмов с достаточной частотой встречаемости.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Секвенирование нового поколения в сочетании с платформой AgriSeq представляет собой инновационный метод анализа генетических данных, который находит широкое применение в сельском хозяйстве, особенно в животноводстве и овцеводстве. Этот подход позволит проводить масштабное генотипирование множества генетических маркеров одновременно, что делает его незаменимым инструментом для селекции, улучшения пород и сохранения генетического разнообразия. Разработанная компанией Thermo Fisher Scientific технология AgriSeq объединяет преимущества NGS и целевого генотипирования. AgriSeq основана на амплификации определённых участков ДНК с последующим их секвенированием. Это дает возможность одновременно анализировать от нескольких сотен до тысячи SNP, что необходимо для выявления генетических маркеров, связанных с достоверностью происхождения, продуктивностью, устойчивостью к болезням и другими ключевыми характеристиками. Внедрение новой технологии в отечественное овцеводство будет способствовать повышению качества шерсти и мясной продукции, идентификации генетических маркеров, связанных с устойчивостью к паразитам и инфекциям, более точно выполнять анализ родства и способствовать оптимизации программ селекции для получения более продуктивных и здоровых животных.

На основании проведенных исследований были выделены замены, не демонстрирующие значимой связи с фенотипическими признаками у баранов породы российский мясной меринос. Данные полиморфизмы применялись для установления степени родства между животными. В отдельную категорию вошли SNP, обладающие необходимой частотой встречаемости и устойчивой связью с параметрами продуктивности, что позволяет использовать их в селекционной работе для улучшения хозяйственно ценных характеристик.

Установили, что большинство замен, отобранных для подтверждения достоверности происхождения у баранов первого поколения сохраняют свою информативность и в последующем поколении овец. SNP, показавшие значительное снижение частоты встречаемости отдельных генотипов, исключаются. В результате анализа после удаления из панели 84 локусов с изменившейся частотой обнаружения для дальнейшего анализа использовались 460 замен, что выше минимального значения для достоверной оценки родства, установленного ISAG для овец практически в 5 раз [13]. Наличие избыточных SNP позволит в дальнейшем исключать полиморфизмы утратившим информативность в случае закрепления в породе одного из аллелей.

Панель валидирована на большом количестве образцов, что подтверждает её надежность Частота встречаемости полиморфизмов, связанных с признаками фенотипа, характеризующего мясного продуктивность, между группами баранчиков 2021 и 2022 года рождения изменилась незначительно.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная панель включает 460 SNP для подтверждения происхождения и 295 SNP для оценки мясной продуктивности.

2. Частота встречаемости диких гомозиготных аллелей составила 0,28, что соответствует требованиям для долгосрочного использования.

3. Панель соответствует законодательным требованиям РФ и применима в селекционных программах.

4. Технология AgriSeq демонстрирует высокую эффективность для генотипирования овец.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, соглашение № 22-26-20009 от 03.12.2022.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Comparing* BeadChip and WGS genotyping: non-technical failed calling is attributable to additional variation within the probe target sequence / M. Gershoni [et al.] // Genes. – 2022. – Vol. 13, № 3. – P. 485. – DOI: 10.3390/genes13030485.
2. *Rapid* low-cost microarray-based genotyping for genetic screening in primary immunodeficiency / N. Suratannon [et al.] // Frontiers in Immunology. – 2020. – Vol. 11. – P. 614. – DOI: 10.3389/fimmu.2020.00614.
3. *Design* and characterization of a high-resolution multiple-SNP capture array by target sequencing for sheep / Y. Guo [et al.] // Journal of Animal Science. – 2023. – Vol. 101. – Art. skac383. – DOI: 10.1093/jas/skac383.
4. *Genome* wide association for a dominant pigmentation gene in sheep / J.W. Kijas [et al.] // Journal of Animal Breeding and Genetics. – 2013. – Vol. 130. – P. 468–475. – DOI: 10.1111/jbg.12048.
5. *Whole-genome* resequencing of wild and domestic sheep identifies genes associated with morphological and agronomic traits / X. Li [et al.] // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 2815. – DOI: 10.1038/s41467-020-16485-1.
6. *Development* and application of a target capture sequencing SNP-genotyping platform in rice / C. Lee [et al.] // Genes. – 2022. – Vol. 13, № 5. – P. 794. – DOI: 10.3390/genes13050794.
7. *Whole-genome* selective scans detect genes associated with important phenotypic traits in sheep (*Ovis aries*) / S.S. Xu [et al.] // Frontiers in Genetics. – 2021. – Vol. 12. – Art. 738879. – DOI: 10.3389/fgene.2021.738879.
8. *The origin* of domestication genes in goats / Z. Zheng [et al.] // Science Advances. – 2020. – Vol. 6, № 21. – Art. eaaz5216. – DOI: 10.1126/sciadv.aaz5216.
9. *Выявление* молекулярных маркеров и генов-кандидатов породной принадлежности северокавказских мясошерстных овец методом полногеномного поиска ассоциаций / А.Ю. Криворучко, А.В. Скокова, О.Я. Яцык [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2024. – Т. 62, № 1. – С. 57–67. – DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-57-67.
10. *Genome-Wide* Search for Associations with Meat Production Parameters in Karachaevsky Sheep Breed Using the Illumina BeadChip 600 K / A. Krivoruchko [et al.] // Genes. – 2023. – Vol. 14, № 6. – P. 1288. – DOI: 10.3390/genes14061288.
11. *Refining* the genomic profiles of North African sheep breeds through meta-analysis of worldwide genomic SNP data / I. Baazaoui [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. – 2024. – Vol. 11. – Art. 1339321. – DOI: 10.3389/fvets.2024.1339321.
12. *Johnsson M.* Genomics in animal breeding from the perspectives of matrices and molecules // Hereditas. – 2023. – Vol. 160, № 1. – Art. 20. – DOI: 10.1186/s41065-023-00285-w.
13. *Использование* таргетного секвенирования для генотипирования овец породы джалгинский меринос / А.Ю. Криворучко, А.А. Каниболоцкая, Л.Н. Скорых [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, № 3. – С. 453–464. – DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.3.453-464.
14. *Target-enrichment* strategies for next-generation sequencing / L. Mamanova [et al.] // Nature Methods. – 2010. – Vol. 7, № 2. – P. 111–118. – DOI: 10.1038/nmeth.1419.
15. *Goodwin S., McPherson J.D., McCombie W.R.* Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies // Nature Reviews Genetics. – 2016. – Vol. 17, № 6. – P. 333–351. – DOI: 10.1038/nrg.2016.49.
16. *Tortereau F., Moreno C.R., Tosser-Klopp G.* Development of a SNP panel dedicated to parentage assignment in French sheep populations // BMC Genetics. – 2017. – Vol. 18. – Art. 50. – DOI: 10.1186/s12863-017-0518-2.

17. *SNP Data* Quality Control in a National Beef and Dairy Cattle System and Highly Accurate SNP Based Parentage Verification and Identification / M.C. McClure [et al.] // Frontiers in Genetics. – 2018. – Vol. 9. – Art. 84. – DOI: 10.3389/fgene.2018.00084.
18. *Genome-wide* search polymorphisms using illumina beadchip in Russian meat Merino sheep for future genotyping by sequencing / A. Krivoruchko [et al.] // Genetika. – 2024. – Vol. 56, № 2. – P. 357–368. – DOI: 10.2298/GENSR2402357K.

## REFERENCES

1. Gershoni M. et al., Comparing BeadChip and WGS genotyping: non-technical failed calling is attributable to additional variation within the probe target sequence, *Genes*, 2022, Vol. 13, No. 3, pp. 485, DOI: 10.3390/genes13030485.
2. Suratannon N. et al., Rapid low-cost microarray-based genotyping for genetic screening in primary immunodeficiency, *Frontiers in Immunology*, 2020, Vol. 11, pp. 614, DOI: 10.3389/fimmu.2020.00614.
3. Guo Y. et al., Design and characterization of a high-resolution multiple-SNP capture array by target sequencing for sheep, *Journal of Animal Science*, 2023, Vol. 101, Art. skac383, DOI: 10.1093/jas/skac383.
4. Kijas J.W. et al., Genomewide association for a dominant pigmentation gene in sheep, *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2013, Vol. 130, pp. 468–475, DOI: 10.1111/jbg.12048.
5. Li X. et al., Whole-genome resequencing of wild and domestic sheep identifies genes associated with morphological and agronomic traits, *Nature Communications*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 2815, DOI: 10.1038/s41467-020-16485-1.
6. Lee C. et al., Development and application of a target capture sequencing SNP-genotyping platform in rice, *Genes*, 2022, Vol. 13, No. 5, pp. 794, DOI: 10.3390/genes13050794.
7. Xu S.S. et al., Whole-genome selective scans detect genes associated with important phenotypic traits in sheep (Ovis aries), *Frontiers in Genetics*, 2021, Vol. 12, Art. 738879, DOI: 10.3389/fgene.2021.738879.
8. Zheng Z. et al., The origin of domestication genes in goats, *Science Advances*, 2020, Vol. 6, No. 21, Art. eaaz5216, DOI: 10.1126/sciadv.aaz5216.
9. Krivoruchko A.Yu., Skokova A.V., Yatsyk O.Ya. [i dr.], *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Ser. agrarnykh navuk*, 2024, Vol. 62, No. 1, pp. 57–67, DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-57-67. (In Russ.)
10. Krivoruchko A., Likhovid A., Kanibolotskaya A. [et al.], Genome-Wide Search for Associations with Meat Production Parameters in Karachaevsky Sheep Breed Using the Illumina BeadChip 600 K, *Genes*, 2023, Vol. 14, No. 6, pp. 1288, DOI: 10.3390/genes14061288.
11. Baazaoui I. et al., Refining the genomic profiles of North African sheep breeds through meta-analysis of worldwide genomic SNP data, *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, Vol. 11, Art. 1339321, DOI: 10.3389/fvets.2024.1339321.
12. Johnsson M., Genomics in animal breeding from the perspectives of matrices and molecules, *Hereditas*, 2023, Vol. 160, No. 1, Art. 20, DOI: 10.1186/s41065-023-00285- w.
13. Krivoruchko A.Yu., Kanibolotskaya A.A., Skorykh L.N. [i dr.], *Agrarian Science of the Euro-North-East*, 2024, Vol. 25, No. 3. pp. 453–464, DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.3.453-464. (In Russ.)
14. Mamanova L. et al., Target-enrichment strategies for next-generation sequencing, *Nature Methods,* 2010, Vol. 7, No. 2. pp. 111–118, DOI: 10.1038/nmeth.1419.
15. Goodwin S., McPherson J.D., McCombie W.R., Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies, *Nature Reviews Genetics*, 2016, Vol. 17, No. 6, pp. 333–351, DOI: 10.1038/nrg.2016.49.
16. Tortereau F., Moreno C.R., Tosser-Klopp G., Development of a SNP panel dedicated to parentage assignment in French sheep populations, *BMC Genetics*, 2017, Vol. 18, Art. 50, DOI: 10.1186/s12863-017-0518-2.
17. McClure M.C. et al., SNP Data Quality Control in a National Beef and Dairy Cattle System and Highly Accurate SNP Based Parentage Verification and Identification, *Frontiers in Genetics*, 2018, Vol. 9, Art. 84, DOI: 10.3389/fgene.2018.00084.
18. Krivoruchko A., Genome-wide search polymorphisms using illumina beadchip in Russian meat Merino sheep for future genotyping by sequencing, *Genetika*, 2024, Vol. 56, No. 2, pp. 357–368, DOI: 10.2298/GENSR2402357K.

**Информация об авторах:**
*А.Ю. Криворучко,* главный научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве
*С.Н. Шумаенко,* зам. директора по научной работе ВНИИОК
*А.А. Каниболоцкая,* старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве
*А.В. Скокова,* ведущий научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве
*Е.Ю. Сафарян,* старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

*О.А. Яцык,* старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

**Contribution of the authors:**
*A.Yu. Krivoruchko,* Chief Researcher, Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry
*S.N. Shumaenko,* Deputy Director for Research at VNIIK
*A.A. Kanibolotskaya,* Senior Researcher, Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry
*A.V. Skokova,* Leading Researcher, Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry
*E.Yu. Safaryan,* Senior Researcher, Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry
*O.A. Yatsyk,* Senior Researcher, Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-261-268
УДК 578.23:577.29

# ПОЛУЧЕНИЕ РНК-КОНТРОЛЬНОГО ОБРАЗЦА И ПЕРЕСПЕКТИВА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЖЕЛТОЙ ЛИХОРАДКИ МЕТОДОМ LAMP

**Е.И. Кривошеина, К.Р. Беличенко, Е.В. Чуб, М.Ю. Карташов**
*ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Россия*
**E-mail:** katr962@mail.ru

**Для цитирования:** *Получение* РНК-контрольного образца и перспектива его применения для диагностики желтой лихорадки методом LAMP / Е.И. Кривошеина, К.Р. Беличенко, Е.В. Чуб, М.Ю. Карташов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 261–268. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-261-268.

**Ключевые слова:** РНК-контроли, диагностика, петлевая изотермическая амплификация, вирус желтой лихорадки.

**Реферат.** *Цель исследования заключалась в создании контрольного образца РНК для диагностики вируса желтой лихорадки (ВЖЛ) методом LAMP. Получены два контрольных образца: рекомбинантная плазмидная ДНК (pCR2.1-YFV-K+) и мРНК (РНК-YFV-K+). В ходе оценки аналитической чувствительности методом LAMP установлено, что оба образца демонстрируют сопоставимый уровень предела детекции, равный $10^4$ копий/мл, что позволяет эффективно выявлять генетический материал вируса в первые дни симптомов заболевания. Исследование стабильности образцов показало, что при температуре от -15 до -25 °С оба образца сохраняют работоспособность даже после десятикратного цикла размораживания/замораживания. При температуре от 2 до 8 °С образцы определяются как положительные в течение семи дней хранения. Однако при комнатной температуре стабильность снижается: для pCR2.1-YFV-K+ она сохраняется до 72 ч, а для РНК-YFV-K+ – до 48 ч. Для обеспечения стабильности образцы следует хранить в условиях низких температур (от -15 до -25 или от 2 до 8 °С). Учитывая результаты, РНК-YFV-K+ может использоваться как контроль аналитической чувствительности и правильности проведения реакции обратной транскрипции с последующей амплификацией методом LAMP, что важно для детекции РНК-содержащего вируса желтой лихорадки.*

# OBTAINING RNA CONTROL SAMPLE AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION FOR DIAGNOSTICS OF YELLOW FEVER BY THE LAMP METHOD

**E.I. Krivosheina, K.R. Belichenko, E.V. Chub, M.Yu. Kartashov**
*State Scientific Center of Virology and Biotechnology «Vector», Kol'tsovo, Russia*
**E-mail:** katr962@mail.ru

**Keywords:** RNA controls, diagnostics, loop-mediated isothermal amplification, yellow fever virus.

**Abstract.** *The aim of the study was to create a control RNA sample for yellow fever virus (YFV) diagnostics using the LAMP method. Two control samples were obtained: recombinant plasmid DNA (pCR2.1-YFV-K+) and mRNA (RNA-YFV-K+). During the assessment of the analytical sensitivity by the LAMP method, it was found that both samples demonstrated a comparable detection limit of $10^4$ copies/ml, which allows for effective detection of the viral genetic material in the first days of disease symptoms. A study of the sample stability showed that at a temperature of -15 to -25 °C, both samples retain their functionality even after tenfold defrosting/freezing. At a temperature of 2 to 8 °C, the samples are determined as positive for 7 days of storage. However, stability decreases at room temperature: for pCR2.1-YFV-K+ it remains up to 72 hours, and for RNA-YFV-K+ — up to 48 hours. To ensure stability, samples should be stored at low temperatures (-15 to -25°C or 2 to 8°C). Based on the results, RNA-YFV-K+ can be used as a control for analytical sensitivity and correctness of the reverse transcription reaction followed by amplification by the LAMP method, which is important for the detection of RNA-containing yellow fever virus.*

В качестве положительного контроля диагностического набора реагентов, основанного на различных вариантах метода ОТ-ПЦР, можно использовать как ДНК-, так и РНК-материал. РНК-контроли не уступают в чувствительности ДНК, однако нестабильны из-за деградации РНКазами [1, 2].

ДНК имеет более устойчивую структуру, что позволяет ее легко транспортировать и хранить. Несмотря на это, РНК-контроль необходим в наборах реагентов, основанных на методах амплификации, с вложенной обратной транскрипцией, для проверки работы ревертазы [3]. Использование ДНК-контролей вызывает высокий риск ложноотрицательных результатов при диагностике заболеваний, вызванных РНК-содержащими вирусами [1].

Положительный контроль на основе ампликонов из положительных образцов или *in vitro* транскрибировании однородной для мишени последовательности позволяет оценить работу всех компонентов реакции, но в случае контаминации непосредственно образцов или его контаминации положительными образцами, такие ложноположительные результаты будет сложно отличить от истинно положительных результатов. Возможно использовать положительные контроли, которые подразумевают наличие других праймеров и амплификацию другой мишени, отличной от положительных образцов. Однако в таком случае не представляется возможной оценка работы самих диагностических праймеров [2].

Еще в 2006 г. Цзи-Мин Чену с соавторами удалось получить стабильный РНК-контроль для ОТ-ПЦР в реальном времени для обнаружения генетического материала вируса Нипах. Для решения возможной проблемы с контаминацией была использована последовательность ДНК, содержащая небольшую делецию между участками посадки праймеров. Последовательность клонировали в вектор, амплифицировали с использованием праймеров с Т7 промотором на 5’ концах. Так получили дцРНК *in vitro*, которая показала высокую стабильность: она лишь немного деградировала после инкубации при 37 °С в течение 24 ч и при инкубации с РНКазой I в течение 1 ч [4].

В статье M. Snow и соавторов [5] был разработан РНК-контроль для обнаружения вируса инфекционной анемии лосося (Isavirus salaris) с использованием ПЦР в реальном времени. Полученные транскрипты РНК *in vitro* содержали две последовательности: целевой фрагмент вируса (включая последовательность распознавания праймеров и зонда) и дополнительную искусственную контрольную последовательность, на которую нацелен второй зонд, включающий другой флуорофор. При детектировании результатов контрольный образец имеет два положительных сигнала на двух разных каналах, что позволяет выявлять случаи ложноположительных результатов из-за контаминации исследуемых образцов положительным контролем [5].

В 2021 г. были разработаны химически модифицированные РНК-контроли (фосфороселенаотные и фосфоротиоатные) [2]. При замене одного атома кислорода на селен или серу, такие РНК демонстрируют высокую стабильность и специфичность. Их эффективно распознавала Т7 полимераза и обратная транскриптаза. Таким образом, химически модифицированные РНК-контроли обладают потенциалом в диагностических системах, однако отличить контаминацию образцов положительным контролем не удастся.

Также известно об использовании РНК-контролей для диагностики вирусов Чикунгунья [6], папилломы человека (для выявления транскриптов в клетках яичников) [7], SARS-CoV-2 [8] и других патогенов.

Желтая лихорадка (ЖЛ) – острое вирусное заболевания, возбудителям которой является представитель семейства Flaviviridae рода *Orthoflavivirus* – вирус желтой лихорадки (ВЖЛ) [9]. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно во всем мире регистрируется примерно от 80 до 200 тыс. случаев желтой лихорадки, из которых 30–60 тыс. заканчиваются летальным исходом, но реальную ситуацию оценить очень сложно, так как в ряде эндемичных стран в связи со сложной политической и экономической ситуацией не ведется реальная статистика заболеваемости [10, 11].

В настоящее время отечественная диагностика ЖЛ представлена только ПЦР тест-системами, время анализа которыми занимает более 3 ч без учета времени, затраченного на доставку проб в лабораторию [12]. В связи с ростом объема миграционных процессов, международного туризма и участившимися посещениями гражданами России стран, расположенных в тропических и субтропических поясах земного шара, и обнаружением на территории южных регионов России устойчивых популяций комаров видов *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*, являющихся основными переносчиками ВЖЛ, встает вопрос о разработке быстрых и эффективных тестов для подтверждения завозных случаев и изучения возможного распространения вируса комарами-переносчиками на территории РФ [13, 14].

Обнаружение генетического материала вирусов петлевой изотермической амплификации (LAMP – Loop-Mediated Isothermal Amplification) представляет собой высокоспецифичный и бы-

стрый метод диагностики инфекции на начальных этапах заболевания [15]. Использование РНК-контрольных образцов для набора реагентов, использующих такой метод амплификации, позволит в полной мере изучить его диагностические характеристики и перспективу применения для диагностики ЖЛ или других заболеваний, вызываемых РНК-содержащими вирусами.

Цель исследования – получение РНК-положительного контрольного образца и оценка перспективы его применения для выявления методом LAMP генетического материала РНК-содержащих вирусов (на примере вируса желтой лихорадки).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения положительного контрольного образца были использованы следующие методы: ПЦР для наработки ампликона, клонирование в плазмиду pCR2.1-TOPO («Thermo Fisher Scientific», США), трансформацию клеток *E. coli* штамма TOP10 (Thermo Fisher Scientific, США), очистки рекомбинантной плазмидной ДНК набором diaGene для выделения плазмидной ДНК из бактерий» («Диаэм», Россия), секвенирование по методу Сэнгера с использованием набора реагентов для секвенирования BigDye Terminator v3.1 и формамида Hi-Di (Thermo Fisher Scientific, США).

Транскрипцию *in vitro* проводили с использованием коммерческого набора для проведения Т7-транскрипции *in vitro* (Биолабмикс, Россия) согласно инструкции производителя. Далее реакционную смесь инкубировали при 37 °С в течение четырех часов и обрабатывали ДНКазой I (ThermoFisher, США), следуя инструкции производителя.

Флуориметрическое определение концентрации ДНК/РНК проводили на приборе NanoPhotometer NP80 (Implen, Германия).

Приготовление модельных образцов осуществляли с помощью последовательных десятикратных разведений полученных контрольных образцов (pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+) до концентраций от $10^7$ до 10 копий/мл. Для приготовления модельных образцов использовали стерильную воду свободную от РНКаз и ДНКаз (Биолабмикс, Россия).

Постановку реакции петлевой изотермической амплификации осуществляли, используя разработанный комплект олигонуклеотидных праймеров: YFV-F3 5’-ARAAGATYACGGCYCACC-3’, YFV-B3 5’-CAGATGTCACATTTAGGAGC-3’, YFV-FIP 5’-GGCCACCACTCTYTTAACTTTCCTTTTTTGGTTGTGGAAAATGCTGG-3’, YFV-BIP 5’-CCGTTCCCATGATGTTCTGACTTTTTTCCGCAYCAAGGTCACT-3’, YFV-LF 5’-ARCAGCCAAGCCTTGTCTTG-3’ и YFV-LB 5’-TTGGGAATGCTGTTGATGACGG-3’ (производства ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора), набор БиоМастер LAMP (2×), ревертазу RNAscribe RT (Биолабмикс, Россия) и интеркалирующий краситель EvaGreen 20x (Biotium, США). Все реакции проводились на приборе CFX 96 (BioRad, США). Был применен следующий температурно-временной режим: инкубация в течение 30 мин при 65 °С с детекцией продуктов амплификации каждую минуту по каналу «FAM».

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программного обеспечения Statistica v.11.0 (Tibco, США).

Коэффициент вариации для воспроизводимости рассчитывался по формуле *CVp*, % = *Ct* (стандотклон) / *Ct* (ср.знач.) ×100 % для 33 проб.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате молекулярно-генетических манипуляций была получена рекомбинантная плазмидная ДНК – pCR2.1-YFV-K+, содержащая вставку ДНК, комплементарную участку гена белка Е ВЖЛ. Полученный плазмидный вектор использовался для получения РНК-YFV-K+ методом транскрипции *in vitro.*

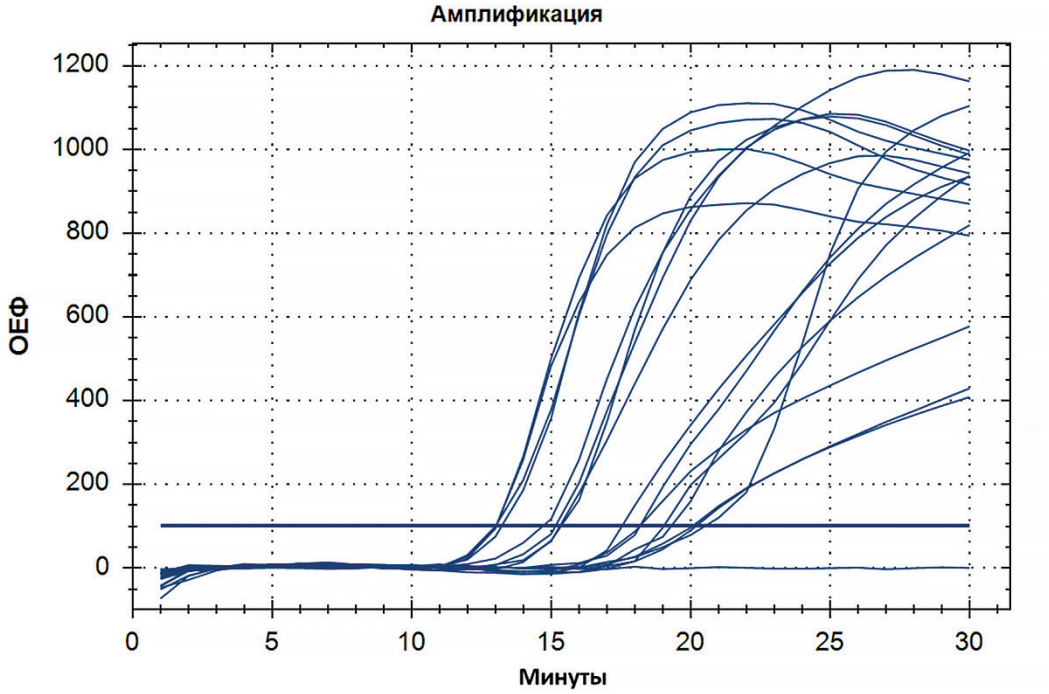
Таким образом получены два контрольных образца, один из которых представлен плазмидной ДНК (pCR2.1-YFV-K+), другой мРНК (РНК-YFV-K+).

Оценку аналитической чувствительности осуществляли методом LAMP, используя комплект праймеров, комплементарный восьми последовательностям целевого фрагмента гена белка Е ВЖЛ. В качестве анализируемых образцов использовали полученные контрольные образцы (pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+) в концентрациях от $10^7$ до 10 копий/мл.

Образцы, содержащие pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+ в концентрации от $10^7$ до $10^4$ копий/мл, определены как положительные, а в концентрации от $10^3$ до $10^1$ копий/мл определены как отрицательные (рисунок, табл. 1). Таким образом установлена аналитическая чувствительность (предел детекции) – $10^4$ копий/мл.

Такой предел детекции достаточен для эффективного выявления генетического материала ВЖЛ методом LAMP в первые дни появления

симптомов заболевания, когда уровень вирусной нагрузки максимален.




Анализ аналитической чувствительности при использовании РНК-контроля (РНК-YFV-K+) и плазмидного контроля (pCR2.1-YFV-K+) по каналу «FAM» на амплификаторе CFX 96 (BioRad, США)

Analysis of analytical sensitivity using RNA control (RNA-YFV-K+) and plasmid control (pCR2.1-YFV-K+) in the "FAM" channel on a CFX 96 amplifier (BioRad, USA)

*Таблица 1*

**Анализ аналитической чувствительности**
**Analytical sensitivity analysis**

| Концентрация, копий/мл | Значение Ct (канал FAM) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | pCR2.1-YFV-K+ | | РНК-YFV-K+ | |
| | № 1 | № 2 | № 1 | № 2 |
| $10^7$ | 11,66 | 11,70 | 11,61 | 11,96 |
| $10^6$ | 14,82 | 15,07 | 15,10 | 14,22 |
| $10^5$ | 17,87 | 17,28 | 18,64 | 17,71 |
| $10^4$ | 18,64 | 19,60 | 19,38 | 19,61 |
| $10^3$ | N/A | N/A | N/A | N/A |
| $10^2$ | N/A | N/A | N/A | N/A |
| $10^1$ | N/A | N/A | N/A | N/A |

Одной из важной характеристик контрольных образцов в тест-системах является их стабильность при хранении, так как именно от них зависит оценка работоспособности набора реагентов и правильная интерпретация результатов анализа. Для изучения стабильности контрольных образцов, полученных в данной работе, нами были приготовлены модельные образы pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+ в концентрации $10^6$ копий/мл. Затем аликвоты модельных образцов были помещены в различные температурные условия: при температуре от -15 до -25 °С, от 2 до 8 °С и от 15 до 25 °С. Образцы, хранящиеся при температуре от -15 до -25 °С, были подвергнуты десятикрат-

ному циклу заморозки/разморозки. Каждый этап анализировали методом LAMP.

При размораживании/замораживании все модельные образцы определялись как положительные. Вариабельность полученных результатов сопоставима друг с другом, а коэффициенты вариации для воспроизводимости результатов амплификации для pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+ составили 2,9 и 3,2 %, соответственно.

В табл. 2 представлен анализ контрольных образцов при замораживании/размораживании.

*Таблица 2*

**Анализ стабильности контрольных образцов при замораживании/размораживании**
**Analysis of freeze/thaw stability of control samples**

| Кол-во замораживаний/размораживаний | Значение Ct (канал FAM) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pCR2.1-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | | РНК-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | |
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 1 | № 2 | № 3 |
| Исходные данные | 12,69 | 12,98 | 12,85 | 13,02 | 13,42 | 13,26 |
| 1 | 13,30 | 13,60 | 14,33 | 14,16 | 13,30 | 13,99 |
| 2 | 13,35 | 13,06 | 13,08 | 13,09 | 14,02 | 14,37 |
| 3 | 13,12 | 13,42 | 13,07 | 13,26 | 14,02 | 14,28 |
| 4 | 13,11 | 13,88 | 12,67 | 14,32 | 14,75 | 13,63 |
| 5 | 13,20 | 13,89 | 13,62 | 14,21 | 13,22 | 13,51 |
| 6 | 13,39 | 13,62 | 13,63 | 13,72 | 13,98 | 13,61 |
| 7 | 13,10 | 13,67 | 13,07 | 13,97 | 13,70 | 13,80 |
| 8 | 13,78 | 13,45 | 13,31 | 13,56 | 13,10 | 13,88 |
| 9 | 13,59 | 13,67 | 13,41 | 13,27 | 13,44 | 13,57 |
| 10 | 14,15 | 13,80 | 13,45 | 13,22 | 13,41 | 13,81 |

Модельные образцы, хранящиеся при температуре от 2 до 8 °С и от 15 до 25 °С, тестировались в разные временные точки после начала хранения: 24, 48, 72, 96 и 168 ч. При хранении от 2 до 8 °С все образцы определялись как положительные. Коэффициенты вариации для производимости для pCR2.1-YFV-K+ и РНК-YFV-K+ составили 4,1 и 12,7 % соответственно.

При хранении от 15 до 25 °С модельный образец pCR2.1-YFV-K+ определялся как положительный в трех повторах до 72 ч хранения включительно, а РНК-YFV-K+ – до 48 ч. Коэффициент вариации для воспроизводимости был вычислен для всех образцов, определенных как положительные до 48 ч (включительно) и составил 11,5 % для pCR2.1-YFV-K+ , 15,8 % для РНК-YFV-K+.

Вариабельность результатов, полученных при использовании ДНК-контроля (pCR2.1-YFV-K+), была ниже, вероятно, из-за меньшей стабильности РНК по сравнению с ДНК [20].

Анализ стабильности при хранении контрольных образцов при положительных температурах отражен в табл. 3.

*Таблица 3*

**Анализ стабильности при хранении контрольных образцов при положительных температурах**
**Analysis of stability during storage of control samples at positive temperatures**

| Хранение при температуре от 2 до 8 °С | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Время, ч | pCR2.1-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | | РНК-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | |
| | Значение Ct (канал FAM) | | | | | |
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 1 | № 2 | № 3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 24 | 12,45 | 12,03 | 12,45 | 13,70 | 13,48 | 14,13 |
| 48 | 12,55 | 12,19 | 12,61 | 13,00 | 13,42 | 13,97 |

*Окончание табл. 3*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 72 | 12,53 | 12,49 | 12,24 | 13,31 | 13,14 | 13,76 |
| 96 | 12,55 | 12,48 | 12,46 | 15,36 | 15,75 | 15,86 |
| 168 | 13,89 | 13,67 | 13,12 | 18, 12 | 18,47 | 18,59 |
| Хранение при комнатной температуре (от 15 до 25 °С) | | | | | | |
| Время, ч | pCR2.1-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | | РНК-YFV-K+($10^6$ копий/мл) | | |
| | Значение Ct (канал FAM) | | | | | |
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 1 | № 2 | № 3 |
| 24 | 13,39 | 13,12 | 14,06 | 13,57 | 13,60 | 13,97 |
| 48 | 16,81 | 16,19 | 16,79 | 18,20 | 18,30 | 18,43 |
| 72 | 22,13 | 23,12 | 22,30 | N/A | N/A | N/A |
| 96 | 25,20 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 168 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Компоненты, используемы для реакции LAMP с обратной транскрипцией (буферный раствор, Bst ДНК-полимераза и ревертаза), необходимо хранить при температурах от -15 до -25 °С в течение 12–18 мес., или в течение нескольких месяцев при температуре от 2 до 8 °С для стабильной работы согласно инструкциям большинства производителей. Следовательно, РНК-YFV-K+ может быть использован совместно с этими реагентами, так как его стабильность сохраняется при схожем режиме хранения.

РНК-YFV-K+ зможно использовать для контроля аналитической чувствительности и других диагностических характеристик экспериментального набора реагентов для выявления РНК ВЖЛ методом LAMP на уровне с плазмидным контролем (pCR2.1-YFV-K+).

Также использование РНК-YFV-K+ является контролем протекания реакции обратной транскрипции, что является важным этапом при детекции РНК как ВЖЛ, так и других РНК-содержащих вирусов.

## ВЫВОДЫ

1. Получен РНК-положительный контрольный образец (РНК-YFV-K+), представляющий собой аналог фрагмента гена белка Е вируса желтой лихорадки.

2. При использовании РНК-YFV-K+ и плазмидного контроля pCR2.1-YFV-K+ в реакции петлевой изотермической амплификации показан сопоставимый уровень аналитической чувствительности (предел детекции), составляющий $10^4$ копий/мл.

3. Сравнение модельных контрольных образцов при хранении показало, что в условиях температуры от -15 до -25 °С и от 2 до 8 °С оба модельных контроля работают стабильно, а при комнатной температуре до 72 ч (pCR2.1-YFV-K+) и до 48 ч (РНК-YFV-K+).

4. Установлена возможность использования РНК-положительного контрольного образца (РНК-YFV-K+) для диагностики желтой лихорадки методом LAMP при соблюдении соответствующих условий хранения: при температуре от -15 до -25 °С или от 2 до 8 °С (до семи дней).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора ГЗ-1/25 «Разработка набора реагентов для экспресс-выявления маркеров инфекции желтой лихорадки».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Preparatio*n of His-Tagged Armored RNA Phage Particles as a Control for Real-Time Reverse Transcription-PCR Detection of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus / C. Yangjian [et al.] // J Clin Microbiol. American Society for Microbiology. – 2006. – Vol. 44, № 10. – P. 3557–3561.
2. *High-quality* RT-PCR with chemically modified RNA controls / G. Luo [et al.] // Talanta. – 2021. – Vol. 224. – P. 121850.

3. *Virus-Like* Particles as Positive Controls for COVID-19 RT-LAMP Diagnostic Assays / S.K. Chan [et al.] // Biomacromolecules. American Chemical Society. – 2021. – Vol. 22, № 3. – P. 1231–1243.
4. *A stable* and differentiable RNA positive control for reverse transcription-polymerase chain reaction / J.-M. Chen [et al.] // Biotechnol Lett. – 2006. – Vol. 28, № 22. – P. 1787–1792.
5. *Snow M., McKay P., Matejusova I.* Development of a widely applicable positive control strategy to support detection of infectious salmon anaemia virus (ISAV) using Taqman real-time PCR // J Fish Dis. John Wiley & Sons, Ltd. – 2009. – Vol. 32, № 2. – P. 151–156.
6. *Johnson B.W., Russell B.J., Goodman C.H.* Laboratory diagnosis of chikungunya virus infections and commercial sources for diagnostic assays // J Infect Dis. Oxford University Press. – 2016. – Vol. 214, № suppl_5. – P. S471–S474.
7. *Detection* of Human Papillomavirus RNA in Ovarian and Endometrial Carcinomas by Reverse Transcription/Polymerase Chain Reaction / C.-H. Lai [et al.] // Gynecol Obstet Invest. – 2010. – Vol. 38, № 4. – P. 276–280.
8. *Development* of in vitro transcribed RNA as positive control for laboratory diagnosis of SARS-CoV-2 in India / M.L. Choudhary [et al.] // Indian Journal of Medical Research. Medknow. – 2020. – Vol. 151, № 2–3. – P. 251–254.
9. *Monath TP.* Yellow fever: an update // Lancet Infect. Dis. – 2001. – Vol. 1, № 1. – P. 11–20.
10. *Douam F., Ploss A.* Yellow Fever Virus: Knowledge Gaps Impeding the Fight Against an Old Foe // Trends Microbiol. – 2018. – Vol. 26, № 11. – P. 913–928.
11. *Yellow* fever in the diagnostics laboratory / C. Domingo, R.N. Charrel, J. Schmidt-Chanasit [et al.] // Emerg Microbes Infect. – 2018. – Vol. 7 (1). – P. 129.
12. *Кривошеина Е.И., Карташов М.Ю., Найденова Е.В.* Современные лабораторные методы выявления возбудителя желтой лихорадки // Проблемы особо опасных инфекций. – 2021. – № 2. – С. 24–32.
13. *Detection* of Aedes aegypti, Aedes albopictus, and Aedes koreicus in the Area of Sochi, Russia / L.A. Ganushkina [et al.] // Vector Borne Zoonotic Dis. – 2016. – Vol. 16, № 1. – P. 58–60.
14. *Об обнаружении* комаров Aedes (Stegomyia albopictus Skuse) на территории Российской Федерации // Л.А. Ганушкина, Е.Ю. Таныгина, О.В. Безжонова, В.П. Сергиев // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2012. – № 1. – С. 3-4.
15. *Перспективы* применения петлевой изотермической амплификации в диагностике опасных инфекционных болезней, вызванных вирусами I группы патогенности / М.Ю. Карташов, Е.В. Чуб, Т.П. Микрюкова [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. – 2020. – № 2. – С. 22–30.

## REFERENCES

1. Yangjian C. [et al.], Preparation of His-Tagged Armored RNA Phage Particles as a Control for Real-Time Reverse Transcription-PCR Detection of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus, *J Clin Microbiol. American Society for Microbiology*, 2006, Vol. 44, No. 10, pp. 3557–3561.
2. Luo G. [et al.], High-quality RT-PCR with chemically modified RNA controls, *Talanta*, 2021, Vol. 224, pp. 121850.
3. Chan S.K. [et al.], Virus-Like Particles as Positive Controls for COVID-19 RT-LAMP Diagnostic Assays, Biomacromolecules. *American Chemical Society*, 2021, Vol. 22, No. 3, pp. 1231–1243.
4. Chen J.-M. [et al.], A stable and differentiable RNA positive control for reverse transcription-polymerase chain reaction, *Biotechnol Lett*, 2006, Vol. 28, No. 22, pp. 1787–1792.
5. Snow M., McKay P., Matejusova I., Development of a widely applicable positive control strategy to support detection of infectious salmon anaemia virus (ISAV) using Taqman real-time PCR, *J. Fish Dis. John Wiley & Sons, Ltd*, 2009, Vol. 32, No. 2, pp. 151–156.
6. Johnson B.W., Russell B.J., Goodman C.H., Laboratory diagnosis of chikungunya virus infections and commercial sources for diagnostic assays, *J Infect Dis. Oxford University Press*, 2016, Vol. 214, No. suppl_5, pp. S471–S474.
7. Lai C.-H. [et al.], Detection of Human Papillomavirus RNA in Ovarian and Endometrial Carcinomas by Reverse Transcription/Polymerase Chain Reaction, *Gynecol Obstet Invest*, 2010, Vol. 38, No. 4, pp. 276–280.
8. Choudhary M.L. [et al.], Development of in vitro transcribed RNA as positive control for laboratory diagnosis of SARS-CoV-2 in India, *Indian Journal of Medical Research. Medknow*, 2020, Vol. 151, No. 2–3, pp. 251–254.
9. Monath TP., Yellow fever: an update, *Lancet Infect. Dis*, 2001, Vol. 1, No 1, pp. 11–20.
10. Douam F., Ploss A.,Yellow Fever Virus: Knowledge Gaps Impeding the Fight Against an Old Foe, *Trends Microbiol*., 2018, Vol. 26, No. 11, pp. 913–928.
11. Domingo C., Charrel R.N., Schmidt-Chanasit J. [et al.], Yellow fever in the diagnostics laboratory, *Emerg Microbes Infect*, 2018, Vol. 7 (1), pp. 129.
12. Krivosheina E.I., Kartashov M.Yu., Naydenova E.V., *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2021, No. 2, pp. 24–32.
13. Ganushkina L.A. [et al.], Detection of Aedes aegypti, Aedes albopictus, and Aedes koreicus in the Area of Sochi, Russia, *Vector Borne Zoonotic Dis*, 2016, Vol. 16, No. 1, pp. 58–60.
14. Ganushkina L.A., Tanygina E.Yu., Bezzhonova O.V., Sergiev V.P., *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*, 2012, No. 1, pp. 3–4. (In Russ.)
15. Kartashov M.Yu., Chub E.V., Mikryukova T.P. [i dr.], *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2020, No. 2, pp. 22–30. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*Е.И. Кривошеина,* научный сотрудник
*К.Р. Беличенко,* лаборант-исследователь
*Е.В. Чуб,* кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
*М.Ю. Карташов,* кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

**Contribution of the authors:**
*E.I. Krivosheina,* Research Associate
*K.R. Belichenko,* Laboratory Research Assistant
*E.V. Chub,* PhD in Biology, Leading Researcher
*M.Yu. Kartashov,* PhD in Biology, Senior Researcher

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-269-279
УДК 619:616:995:132.6(571.14)

# КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО ТРИХИНЕЛЛЕЗУ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

**[1]О.Б. Таловская, [1,2]Е.А. Ефремова, [3]Е.А. Удальцов**

*[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

*[2]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (СФНЦА РАН), Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия*

*[3]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** oll.tall.ot@gmail.com

**Для цитирования:** *Таловская О.Б., Ефремова Е.А., Удальцов Е.А.* Комплексная оценка эпизоотической ситуации по трихинеллезу в Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 269–279. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-269-279.

**Ключевые слова:** трихинеллез, население, животные, ретроспективный анализ, мониторинг, картографирование, Новосибирская область.

**Реферат**. *В работе представлены сведения о пространственно-временных особенностях функционирования паразитарной системы трихинеллеза в Новосибирской области. Анализ эпидемической и эпизоотической ситуации по трихинеллезу Новосибирской области выполнен с использованием данных управления Роспотребнадзора и управления ветеринарии Новосибирской области. Часть исследований образцов скелетной мускулатуры диких животных была выполнена в Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН). Установлено, что Новосибирская область является неблагополучной по трихинеллезу человека и животных: за период исследований (2002–2023 гг.) заболевание регистрировали практически ежегодно. Динамика показателя заболеваемости людей и животных трихинеллезом носит волнообразный характер и характеризуется выраженной тенденцией к снижению. Ранжирование территории по уровню заболеваемости населения и животных выявило мозаичность распространения возбудителя. Из 30 административных районов 23 являются неблагополучными по трихинеллезу, в том числе 9 (30 %) – неблагополучны по трихинеллезу человека и животных, 16 (53,3 %) –неблагополучны по трихинеллезу животных и 17 (56,6 %) – по трихинеллезу человека. Циркуляция возбудителя осуществляется среди животных шести видов. Наибольший вклад в структуру зараженности животных трихинеллезом вносят свиньи – 65,9 % (120 случая) и барсуки – 19,2 % (35 случаев). У медведей, кабанов и крыс заболевание встречается эпизодически, что может быть связано с недостаточностью исследований данных животных. Впервые для региона в скелетной мускулатуре домашних кур выделен бескапсульный вид трихин T. pseudospiralis (Garkavi, 1972). Инвазированность птицы возбудителем трихинеллеза составила 10,0 %. Выделены основные аспекты паразитологического мониторинга как инструмента эпизоотологического контроля актуального биогельминтоза на территории Новосибирской области.*

# COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EPIZOOTIC SITUATION OF TRICHINOSIS IN NOVOSIBIRSK REGION

**[1]O.B. Talovskaya, [1,2]E.A. Efremova, [3]E.A.Udaltsov**

*[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

*[2]Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russia*

*[3]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** oll.tall.ot@gmail.com

**Keywords:** trichinellosis, population, animals, retrospective analysis, monitoring, mapping, Novosibirsk Region.

**Abstract.** *The paper presents information on the spatiotemporal features of the functioning of the trichinellosis parasitic system in the Novosibirsk region. It has been established that the Novosibirsk region is unfavorable for human and animal trichinellosis, where the disease was recorded almost annually during the research period (2002–2023). The dynamics of the incidence of trichinellosis in humans and animals is undulating and characterized by a pronounced downward trend. The ranking of the territory by the level of morbidity of the*

*population and animals revealed a mosaic of the spread of the pathogen. Of the 30 administrative districts, 23 are affected by trichinellosis, including 9 (30 %) with human and animal trichinosis, 16 (53,3 %) with animal trichinosis, and 17 (56,6 %) with human trichinosis. The pathogen circulates among animals of 6 species. The largest contribution to the structure of animal infection with trichinosis is made by pigs – 65.9 % (120 cases) and badgers – 19.2 % (35 cases). In bears, wild boars and rats, the disease occurs sporadically, which is due to the lack of research on these animals. For the first time, a capsule-free trichin species, T. pseudospiralis, was isolated for the region in the skeletal muscles of domestic chickens (Garkavi, 1972). The invasion of poultry by the causative agent of trichinellosis was 10.0%. The main aspects of parasitological monitoring as a tool for epizootological control of topical anthelminthiasis in the Novosibirsk region are highlighted.*

Трихинеллез – паразитарная болезнь человека и животных, вызываемая паразитированием трихинелл, кишечных нематод, личинки которых мигрируют в поперечно-полосатые мышцы и там инкапсулируются. Трихинеллез является опасным зооантропонозом, имеет выраженный природно-очаговый характер и широкое географическое распространение в мире с различным уровнем заболеваемости людей, а также домашних и диких животных. Данный биогельминтоз регистрируется в Европе: Италия [1], Франция [2, 3], Германия, Испания [3], Словакия [4], Канада [5], Китай [6], Малазия [7], Австралия [8], Финляндия [9], США, Балканы, Россия, республики Балтии, Аргентина, Таиланд и Лаос, Африка, Турция, Египет, страны бывшей Югославии, Мексика и Гренландия, Польша, Хорватия, Румыния [3, 10] и др. В Российской Федерации заболеваемость трихинеллезом регистрируют во всех регионах [11–17].

Клинические проявления болезни варьируют от бессимптомной инвазии до фульминантного заболевания с летальным исходом [14].

К трихинеллезу восприимчивы свиньи, лошади, медведи, собаки, дикие кабаны, барсуки волки, лисицы, кошки, крысы, мыши, песцы и многие другие дикие плотоядные животные, грызуны и птицы [12–16, 18–20]. В природных очагах источником инвазии являются дикие животные, заражение которых происходит в результате хищничества и поедания павших инвазированных трупов зараженных крыс, кошек, диких животных, содержащих живые инкапсулированные личинки трихинелл, а также в результате поедания сырых боенских конфискатов. В синантропных очагах источником инвазии служат домашние животные (свиньи, кошки, собаки), грызуны и другие животные, которые заражаются при поедании продуктов убоя, пищевых отходов и падали, содержащих личинки трихинелл. Человек заражается при употреблении в пищу сырого, плохо проваренного или прожаренного (в том числе шашлыки) мяса свиней, а также через свиное сало с прослойками мышечной ткани, которые содержат личинки трихинелл [24, 25]. Охота и браконьерство остается актуальным источником получения мяса диких промысловых животных, при этом отсутствие ветеринарно-санитарной экспертизы способствует возникновению и распространению очагов инвазии.

В настоящее время наблюдается малочисленность публикаций в отношении комплексных эпидемических и эпизоотических исследований по трихинеллезу на территории Западной Сибири [26–31], кроме того, существует неоднозначность результатов об особенностях этого биогельминтоза. В связи с этим целью исследований стало выявление комплексной характеристики эпизоотической и эпидемической ситуации по трихинеллезу населения и животных в Новосибирской области.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка эпидемической ситуации проведена на основе систематизации и анализа данных государственных докладов управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области» за период с 2002 по 2023 гг. и данных, представленных в государственных докладах «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ».

Для оценки эпидемической ситуации использовали следующие критерии: показатель заболеваемости на 100 тыс. населения (ПЗ), средний многолетний показатель заболеваемости (СМПЗ), а также был рассчитан показатель темпа роста снижения заболеваемости [32]. С учетом рассчитанных среднемноголетних показателей заболеваемости (СМПЗ) на 100 тыс. жителей в разрезе административных районов проведено ранжирование территории области и выявлены районы, имеющие высокий риск заражения населения трихинеллезом, в которых необходимо проведение дополнительных профилактических мероприятий.

Оценка эпизоотической ситуации проведена с использованием информационно-статистических данных и результатов лабораторно-диагностических исследований по ветеринарно-санитарной экспертизе сырья и продуктов животного происхождения из лабораторий рынков, мясокомбинатов и убойных пунктов (форма 5-вет) за 2009–2020 гг., предоставленных Управлением ветеринарии Новосибирской области. При анализе многолетней динамики инвазированности свиней личинками трихин рассчитывали такой показатель, как частота встречаемости инвазированных особей в исследованной выборке – экстенсивность инвазии (ЭИ, %).

Диагностика трихинеллеза у диких плотоядных животных проводилась в лаборатории оптимизации противоэпизоотических систем СФНЦА РАН. Исследование образцов мышечной ткани осуществлялось с использованием компрессорного метода и метода переваривания в искусственном желудочном соке (ИЖС) в соответствии с методикой П.А. Владимировой. На основании полученных данных была определена экстенсивность инвазии (ЭИ) в исследуемой группе. Видовая идентификация капсульных и бескапсульных трихинелл проводилась на основе анализа их морфометрических параметров.

С учетом результатов исследований выполнено картографирование, отражающее пространственное распределение возбудителя у домашних и диких животных, а также заболеваемость населения в разрезе административных районов Новосибирской области.

Статистическая обработка данных проведена с использованием стандартных прикладных программ MS Excel и анализа динамических рядов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ретроспективный анализ заболеваемости населения за 2002–2023 гг. показывает, что на территории Российской Федерации, в том числе в Новосибирской области, случаи инвазии личинками нематоды рода *Trichinella* регистрируется ежегодно [15].

В Российской Федерации трихинеллез человека регистрируется ежегодно [16]. Показатели заболеваемости в стране варьируют от максимального значения в 2002 (0,04) до минимума в 2007 (0,01) и 2020 (0,01) гг. Следует отметить, что в России за последние 10 лет порядка 15,0 % случаев трихинеллеза приходится на детей до 17 лет [16].

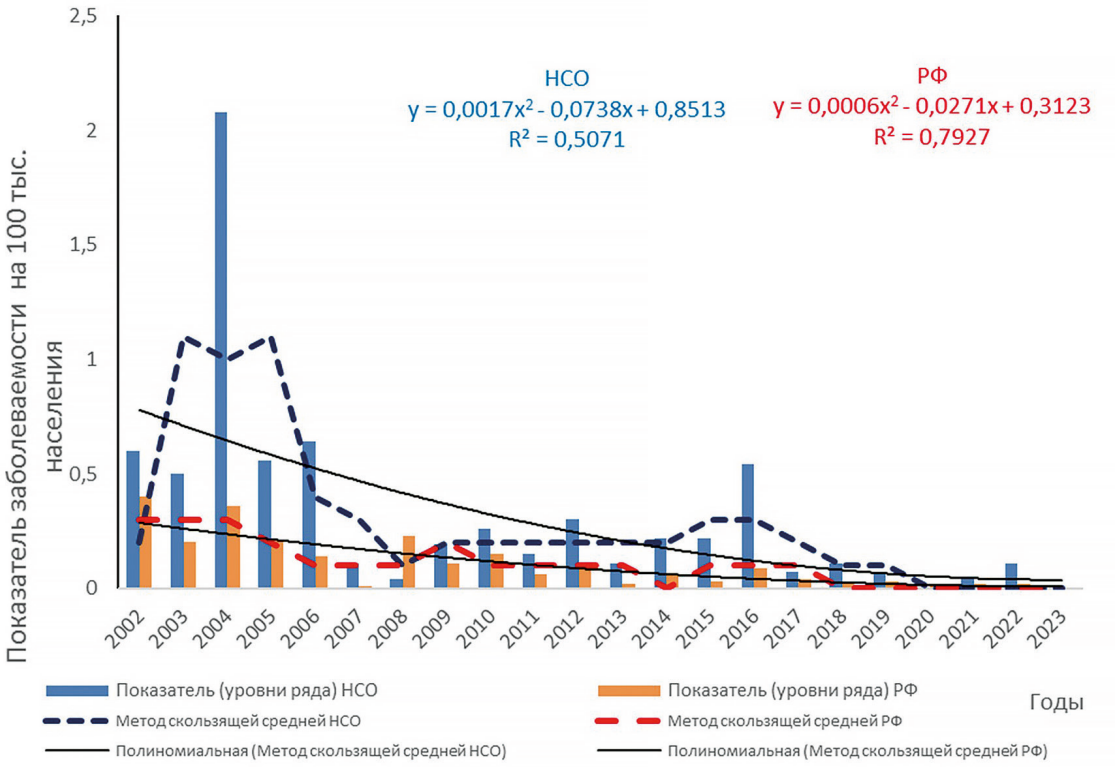



*Рис. 1.* Динамика заболеваемости населения трихинеллезом в Новосибирской области и Российской Федерации с 2002 по 2023 гг.

The dynamics of the incidence of trichinosis in the Novosibirsk region and the Russian Federation from 2002 to 2023.

Средний многолетний показатель заболеваемости (СМПЗ) в РФ с 2002 по 2023 гг. составляет 0,11 на 100 тыс. населения. Расчет темпа роста (снижения) за весь анализируемый период показывает стабильное снижение заболеваемости на 85 %, что в среднем за год составляет 3,86 % и характеризуется как умеренное [32]. Учитывая результаты исследований, эпидемический процесс трихинеллеза в Российской Федерации характеризуются относительно равномерной и достоверной ($R^2 = 0,79$) динамикой снижения заболеваемости населения.

Анализ эпидемической ситуации в Новосибирской области за 20-летний период позволяет отметить наличие более выраженных значений ПЗ в отдельные годы. Заболеваемость населения трихинеллезом варьирует от максимума в 2004 г. (2,08 на 100 тыс. населения) до минимума в 2008, 2021 гг. (0,04), что подтверждает природно-очаговый характер заболевания (рис. 1). Подъемы заболеваемости в большинстве случаев связаны с локальными групповыми случаями инвазии, возникшими при употреблении в пищу мяса, не прошедшего ветеринарно-санитарную экспертизу. Наибольшее количество случаев трихинеллеза в Новосибирской области регистрировали среди жителей г. Новосибирска, Новосибирского, Краснозерского, Сузунского и Тогучинского районов, отмечены единичные завозные случаи. Количество заболевших на одну вспышку, как правило, невысокое, чаще всего от 1 до 10 чел. Исключением являлся Кочковский район, в котором в 2004 г. зарегистрировано 26 заболевших. Средний многолетний показатель заболеваемости за этот период составил 0,33 на 100 тыс. населения, что в 3 раза выше аналогичного показателя по Российской Федерации (0,11).

За период с 2019 по 2023 г. в Новосибирской области отмечен резкий подъем показателей заболеваемости соответственно в 2021 и 2022 гг. (0,04 и 0,11 на 100 тыс. населения) после отсутствия зарегистрированных случаев инвазии в 2020 г.

Рассчитанный темп снижения показателя заболеваемости в регионе за 22-летний период составил 81,7 %, при ежегодном снижении на 3,9 %. (см. рис. 1). Однако, учитывая зарегистрированное за последний пятилетний период (без учета 2023 г.) недостоверное ($R^2 = 0,4$) умеренное увеличение темпа роста заболеваемости (36,4 %), обусловленное природноочаговым характером трихинеллеза [32], следует акцентировать внимание на необходимости и важности осуществления перманентного мониторинга ситуации (рис. 2).

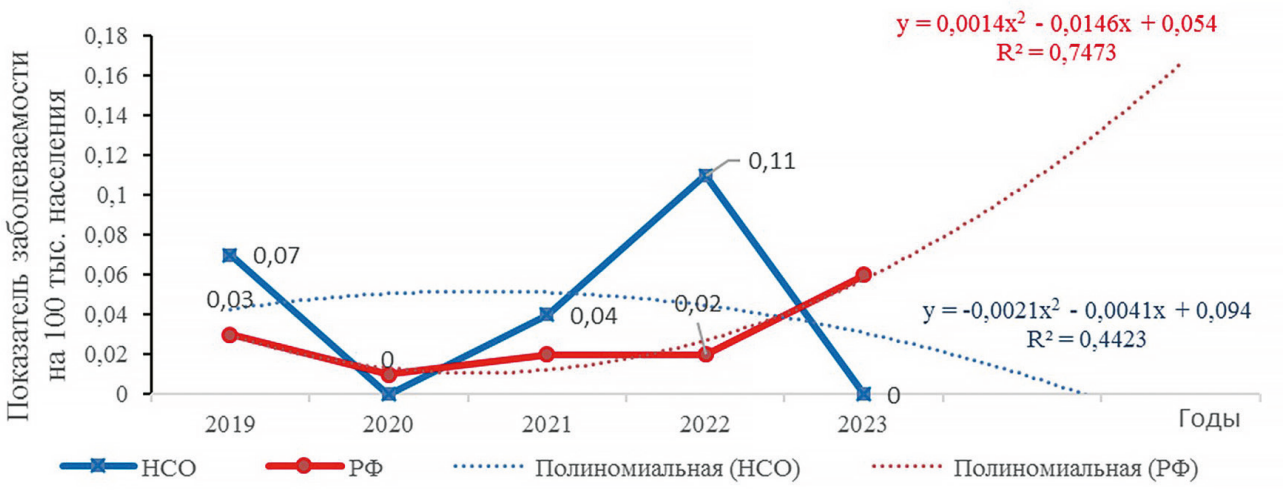



*Рис. 2.* Динамика заболеваемости населения трихинеллезом в Новосибирской области и Российской Федерации с 2019 по 2023 гг.

The dynamics of the incidence of trichinosis in the Novosibirsk region and the Russian Federation from 2019 to 2023.

В связи с тем, что трихинеллез является зооантропонозом и в циркуляции возбудителя принимают участие домашние и дикие животные, дополнительно оценили зараженность домашних свиней личинками трихин.

Ретроспективный анализ инвазированности свиней возбудителем трихинеллеза за исследуе-

мый период показал, что заболевание регистрировали практически ежегодно (за исключением 2016, 2017, 2019 гг.). Зараженность животных трихинами варьировала от максимальных значений в 0,0027 и 0,0026 %, соответственно в 2012 и 2009 гг., с постепенным снижением показателей инвазии с 2013 г., в среднем она составила 0,001 % (рис. 3).

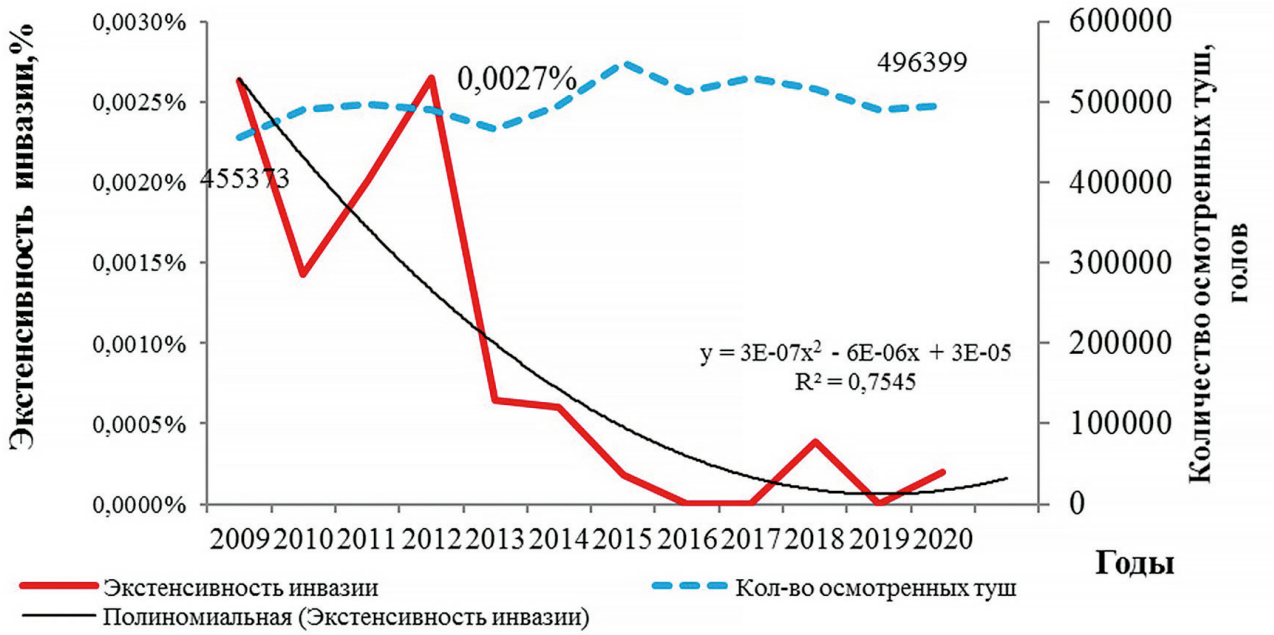



*Рис. 3.* Динамика зараженности свиней трихинеллезом в Новосибирской области в 2009–2020 гг.
Dynamics of pig infection with trichinosis in the Novosibirsk region in 2009 – 2020

Динамика инвазированности свиней трихинами характеризуется как неравномерная и имеющая тенденцию к достоверному снижению инвазированности ($R^2 = 0,75$).

Картографирование позволило оценить картину в разрезе административных районов области по уровню заболеваемости населения и животных трихинеллезом за исследуемый период, а также определить территории, на которых необходимо проведение дополнительных мониторинговых исследований.

Из тридцати административных районов области 23 неблагополучны по трихинеллезу в эпидемическом и (или) эпизоотическом отношении, при этом трихинеллез человека и животных зарегистрирован в девяти (30 %), что свидетельствует о возможном заражении населения от диких и (или) домашних животных. В семи районах зарегистрирована циркуляция возбудителя у диких животных при отсутствии заболеваемости населения (1 район сочетанный). При проведении дальнейшего мониторинга эпизоотической ситуации по трихинеллезу в Новосибирской области следует акцентировать внимание на обследовании восьми районов, в которых при выраженном эпидемическом неблагополучии официальная ветеринарная отчетность не фиксирует обнаружение инвазированных диких и домашних животных.

Отдельного рассмотрения заслуживает ситуация по трихинеллезу, сложившаяся в исследуемый период в Сузунском районе, в котором трихинеллез человека и животных регистрировали ежегодно с 2003 по 2009 г. (с максимумом 29,0 на 100 тыс. в 2006 г.) и с 2003 по 2014 гг., (115 случаев, ЭИ от 0,00013 до 0,0057).

В ходе эпидемиологического расследования официальной причиной трихинеллезной инвазии у людей явилось употребление свинины (рис. 4).

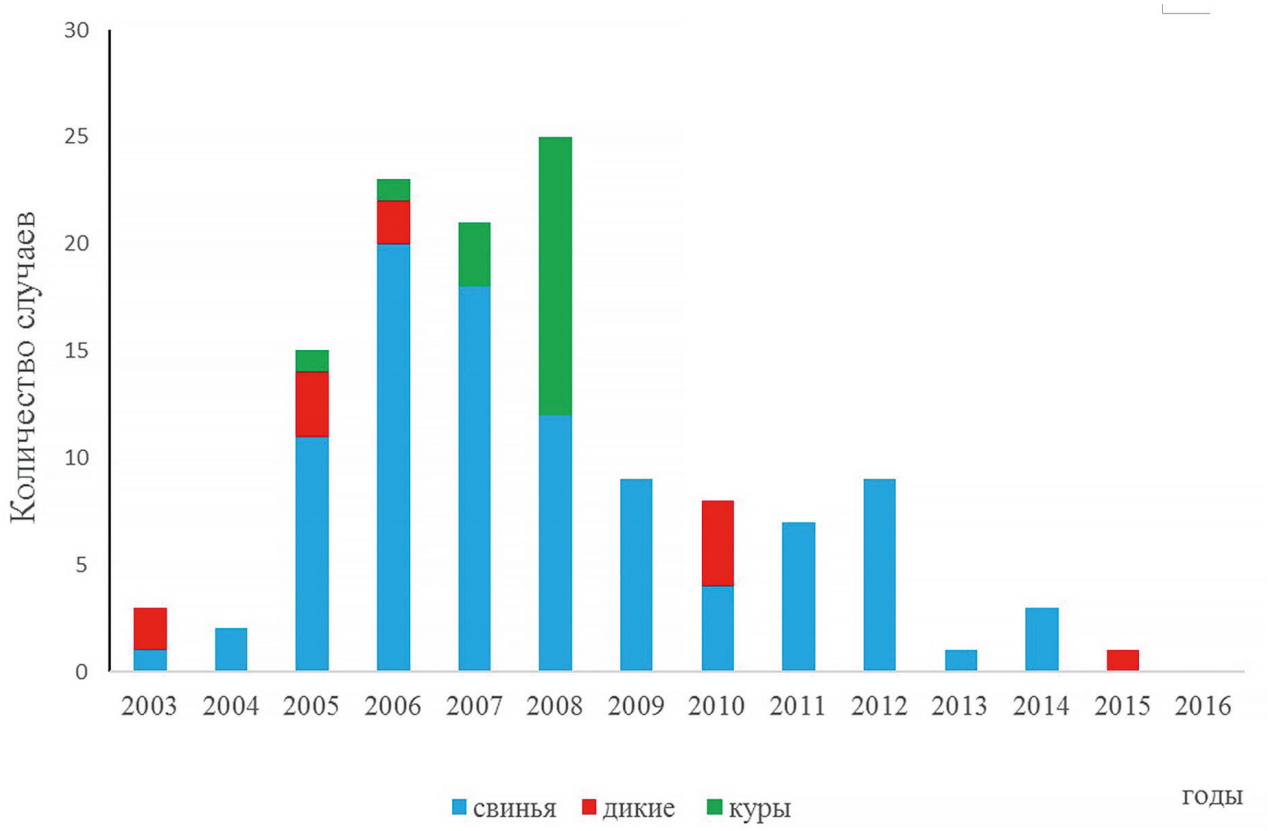



*Рис. 4.* Многолетняя динамика трихинеллеза диких и домашних животных в Сузунском районе (2003–2016 гг.)
Long–term dynamics of wild and domestic animal trichinellosis in the Suzun district (2003–2016)

Однако в этот же период (2005–2008 гг) в мышечной ткани птицы ежегодно выявляли личинки бескапсульного вида трихинелл, при этом из девяти населенных пунктов, неблагополучных по трихинеллезу свиней, в четырех из них личинки бескапсульного вида выделены у кур. Учитывая эпидемическую значимость *T. pseudospiralis* [17, 19–23, 30–31, 33, 36] и возможность ассоциированного паразитирования с *Trichinella spiralis* (Owen, 1825) у свиней [37, 36, 39], нельзя исключить возможность инвазирования человека, в том числе и бескапсульным видом трихин. Таким образом, впервые для Новосибирской области установлено, что потенциальным источником трихинеллезной инвазии для людей и животных может являться и инвазированное мясо птицы, пораженное бескапсульным видом трихинелл *T. pseudospiralis* (ЭИ 10,0 %).

Стационарное неблагополучие территории Сузунского района можно объяснить природно-очаговой этиологией трихинеллеза и близким расположением к Алтайскому краю (Тальменский район), где на протяжении многих лет регистрируют это заболевание [19, 20, 23, 41]. Выраженное неблагополучие граничащих с Сузунским районом Черепановского и Искитимского районов, в которых соответственно зарегистрировано 18 и 10 случаев трихинеллеза животных, обусловлено выносом возбудителя с промысловой и животноводческой продукцией.

Установлено, что в Новосибирской области неблагополучны по изучаемому зоонозу среди поголовья свиней семи районов (22,6 %), при этом случаи трихинеллеза диких промысловых животных зарегистрированы в 14 районах (46,6 %). Заболеваемость трихинеллезом в районах области в 2001–2023 гг. представлена на рис. 5.

В регионе сформировались очаги трихинеллеза: природные (9 районов), синантропные (2 района) и смешанные (4 района). Формирование стационарных очагов в этих районах Новосибирской области обусловлено в том числе их соседством с неблагополучными территориями Кемеровской, Томской областей и Республики Казахстан.

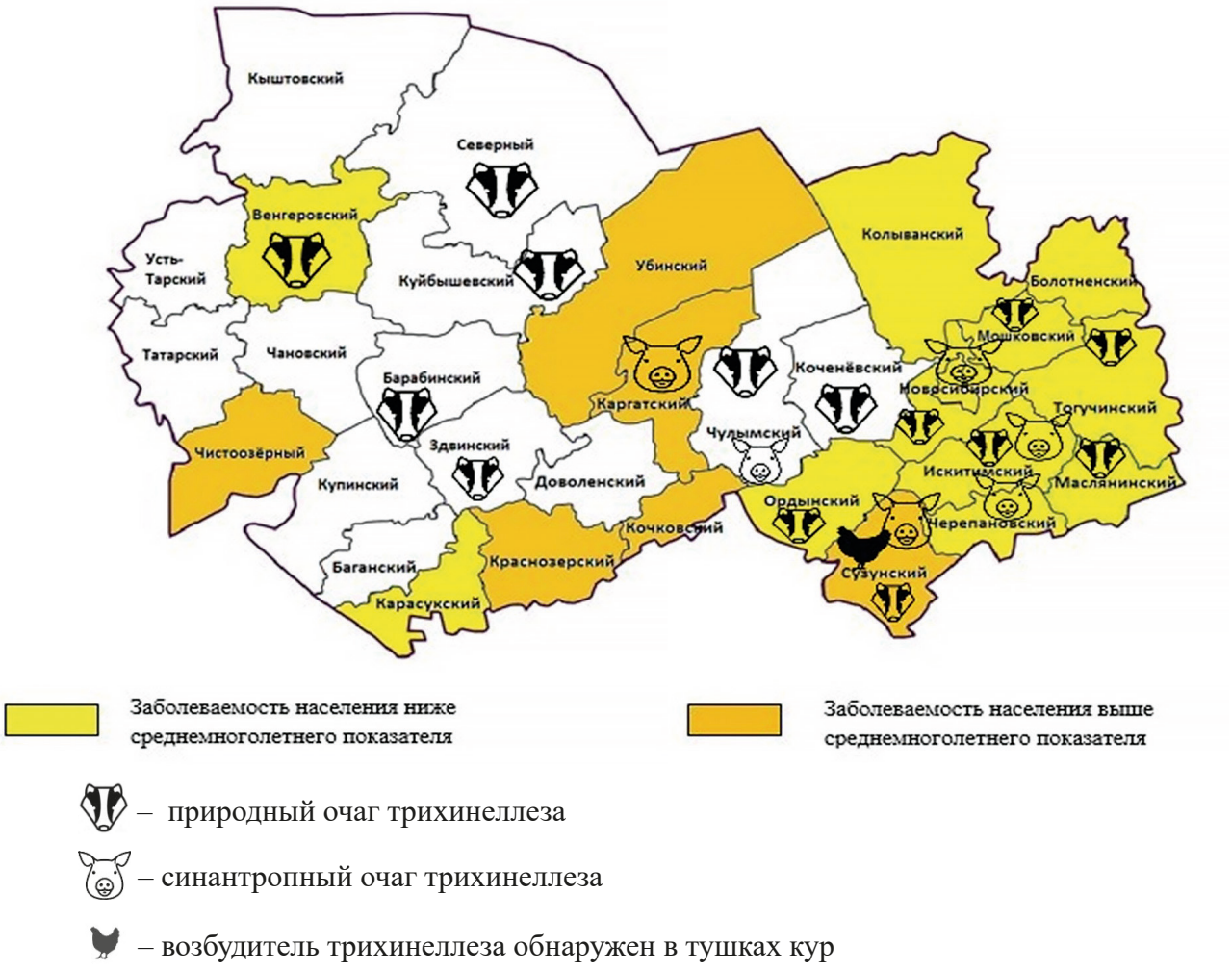



*Рис. 5.* Заболеваемость человека, диких и домашних животных трихинеллезом в административных районах Новосибирской области в 2001–2023 гг.

Incidence of human, wild and domestic animals with trichinosis in the administrative districts of the Novosibirsk region in 2001–2023

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Учитывая, что обмен возбудителем между дикими и домашними животными осуществляется весьма активно, территориальные границы между природными и синантропными очагами стерты, а деление на типы очагов весьма условно [40].

Следует подчеркнуть, что именно в Сузунском районе Новосибирской области в личных подсобных хозяйствах граждан были установлены случаи трихинеллеза среди домашних кур, в скелетной мускулатуре которых выделен бескапсульный вид *Trichinella pseudospiralis.* В последние годы возрастает количество выявленных зараженных промысловых животных, а также их значение в расширении ареала распространенности возбудителя на территории области.

Анализ результатов исследований свидетельствует, что эпидемическое значение отдельных видов животных как потенциального источника инвазии возбудителя рода *Trichinella* для населения различно. В видовой структуре хозяев за исследуемый период наибольший вклад внесли домашние свиньи (67 %). Для Новосибирской области следующими потенциальными источниками заражения среди промысловых животных являются преимущественно барсуки (20 %), медведи и кабаны в единичных случаях. В скелетной мускулатуре домашних кур выделен бескапсульный вид трихин *T. pseudospiralis* (Garkavi, 1972). Инвазированность птицы возбудителем трихинеллеза составила 10,0 %.

Незначительное количество зараженных туш диких животных может быть связано, по нашему

мнению, с недостаточностью проведенных диагностических исследований среди промысловых животных.

## ВЫВОДЫ

1. Новосибирская область является неблагополучной по трихинеллезу человека и животных. На территории региона зарегистрировано два вида трихин: *Trichinella spiralis* (Owen, 1825) и *Trichinella pseudospiralis* (Garkavi, 1972).

2. Трихинеллез регистрируют практически ежегодно, но динамика эпидемического и эпизоотического процесса характеризуется снижением. Распространение трихинеллезной инвазии человека и животных неоднородно. Из тридцати административных районов 7 районов (23,3 %) являются благополучными по трихинеллезу, 10 (33 %) – неблагополучны по трихинеллезу человека и животных, 16 (53,3 %) – неблагополучны по трихинеллезу животных и 17 (56,6 %) – по трихинеллезу человека.

3. Потенциальными источниками заражения преимущественно являются домашние свиньи, среди промысловых животных – барсуки (20 %), медведи и кабаны в единичных случаях. В скелетной мускулатуре домашних кур впервые для региона выделен бескапсульный вид трихин *T. pseudospiralis* (Garkavi, 1972). Инвазированность птицы возбудителем трихинеллеза составила 10,0 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Outbreak* of imported trichinellosis in Verona, Italy / A. Angheben, M. Mascarell, G.Zavarise [et al.] // Euro Surveill. – 2008. – Vol. 13. – P. 18891.
2. *Trichinella* in horses: a low frequency infection with high human risk / P. Boireau, I. Vallée, T. Roman [et al.] // Vet Parasitol. – 2000. – Vol. 93. – P. 309–320.
3. *Dupouy-Camet J.*, Trichinellosis: a worldwide zoonosis // Vet Parasitol. – 2000. – Vol. 93. – P. 191–200.
4. *Trichinellosis* in the Slovak Republic / P. Dubinský, A. Stefancíková, J. Kinceková [et al.] // Parasite. – 2001. – Vol. 8. – P. 100–102.
5. *Outbreak* of trichinellosis due to consumption of bear meat from Canada, France / T. Ancelle, A. De Bruyne, D. Poisson, J. Dupouy-Camet // Euro Surveill. – 2005. – Vol. 10. – 051013.3. – DOI: 10.2807/esw.10.41.02809-en.
6. *Cui J., Wang ZQ.,* Outbreaks of human trichinellosis caused by consumption of dog meat in China // Parasite. – 2001. – Vol. 8. – P. 74–77.
7. *Ongoing* outbreak of an acute muscular Sarcocystis-like illness among travellers returning from Tioman Island, Malaysia 2011 – 2012 / D.H. Esposito, D.O. Freedman, A. Neumayr [et al.] // Euro Surveill. – 2012. – Vol. 17 (45). – P. 1–3.
8. *Parasitic* myositis in tropical Australia. Med J Aust / R. Basuroy, R. Pennisi, T. Robertson [et al.] // Euro Surveill. – 2008. – Vol. 188 (4). – P. 254–256.
9. *Sylvatic* Trichinella spp. infection in Finland / N. Airas, S. Saari, T. Mikkonen [et al.] // Parasitol. – 2010. – Vol. 96 (1). – P. 67–76. – DOI: 10.1645/GE-2202.1. PMID: 19731970.
10. *Gottstein B., Pozio E., Nöckler K.,* Epidemiology, Diagnosis, Treatment, and Control of Trichinellosis // Clin Microbiol. – 2009. – Vol. 22 (1). – P. 127–145. – DOI:10.1128/cmr.00026-08.
11. *Гельминтозоонозы* промысловых плотоядных животных Центрального региона России / О.Н. Андреянов, А.В. Успенский, В.В. Горохов [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – М., 2016. – № 17. – С. 25–26.
12. *Бессонов А.С.* Трихинеллез. – Киев: Урожай, 1977. – 109 с.
13. *Гузеева Т.М.* Эпидемиологический надзор за трихинеллезом в Российской Федерации // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2011. – № 3 (19). – С. 25–28.
14. *Давыдова И.В.* Гельминтозы, регистрируемые на территории Российской Федерации: эпидемиологическая ситуация, особенности биологии паразитов, патогенез, клиника, диагностика, этиотропная терапия // Consilium Medicum. – 2017. – № 19 (8). – С. 32–40.
15. *О состоянии* санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области с 1999 по 2020 году [Текст]: Государственный доклад. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 1999–2020.
16. *Письмо* Роспотребнадзора от 30.06.2014 №01/7267-14-32 «О заболеваемости трихинеллезом, тениаринхозом, тениозом в Российской Федерации в 2013 году».
17. *Pozio E.* New patterns of Trichinella infection // Veterinary parasitology. – 2001. – Vol. 98, № 1–3. – P. 133–148.
18. *Зименков В.А., Сивкова Т.Н., Доронин-Доргелинский Е.А.* Распространение трихинеллеза диких животных в Российской Федерации // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 4 (16). – С. 98–103.
19. *Мезенцев С.В., Разумовская В.В.* Распространение трихинелл в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3 (113). – С. 69–74.

20. *Пономарев Н.М., Костюков М.А., Пономарев А.Н.* Распространение трихинеллеза животных на территории Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1 (75). – С. 69–73.
21. *Коновалов М.Г., Кравченко Е.С., Стариченко А.В.* Изучение возможностей внутриутробного и лактогенного путей передачи трихинеллезной инвазии // Вектор современной науки: сб. тез. по мат-м Междунар. науч.-практ. конф. студ. и мол. ученых. – Краснодар, 2022. – С. 188–189.
22. *Никитченко В.Е., Серегин И.Г., Никитченко Д.В*. Показатели идентификации PSE-порока и миопатии инфекционной и инвазионной этиологии // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (50). – С. 149–155.
23. *Возбудители* гельминтозов людей в приморском крае / А.В. Ермоленко, А.Ф. Попов, Е.В. Загней [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2020. – № 1 (209). – С. 97–114.
24. *Гузеева Т.М.* Оптимизация эпидемиологического надзора при биогельминтозах: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2012. – 234 с
25. *Особенности* ограничительных мероприятий при трихинеллезе / А.В. Успенский, М.В. Арисов, М.И. Гулюкин [и др.] // Российский паразитологический журнал. – 2019. – № 3. – С. 88–92.
26. *Молекулярно-генетические* исследования *Trichinella spp.* в России: первые результаты / С.В. Коняев, А.В. Кривопалов, Т. Янагида [и др.] // Современные проблемы общей паразитологии: мат-лы Междунар. науч. конф. – М., 2012. – С. 171–174.
27. *Анализ* зараженности трихинеллезом азиатского барсука (*Meles Leucurus*) на территории Алтайского края / А.В. Малкина, А.А. Котлов, Т.Н. Ермолович [и др.] // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: мат-лы X Сиб. вет. конф., посвящ. 75-летию НГАУ. – Новосибирск, 2011. – С. 30–31.
28. *Мезенцев С.В.* Эпизоотология трихинеллеза в Алтайском крае // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 9. – С. 127–134.
29. *Бонина О.М., Ефремова Е.А., Удальцов Е.А.* Некоторые аспекты эпидемической и эпизоотической ситуации по трихинеллезу в Новосибирской области // Ветеринарный врач. – 2017. – № 5. – С. 37–43.
30. *Гриценко К.К., Ефремова Е.А., Удальцов Е.А.* Паразитологический мониторинг трихинеллеза на территории Новосибирской области // Российский паразитологический журнал. – 2018. – № 4. – С. 68–72.
31. *Кутенева А.К., Ефремова Е.А., Удальцов Е.А.* Проблема трихинеллеза в Новосибирской области // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2017. – № 18. – С. 218–220.
32. *Оценка* эпидемической ситуации по туберкулезу и анализ деятельности противотуберкулезных учреждений: пособие для врачей / И.М. Сон, Е.И. Скачкова, С.А. Леонов [и др.]. – М.: ЦНИИОИЗ, 2009. – 56 с.
33. *First* outbreak of human trichinellosis caused by Trichinella pseudospiralis / S. Jongwutiwes, N. Chantachum, P. Kraivichian [et al.] // Clin Infect Dis. – 1998.– Vol. 26. – P. 111–115.
34. *Trichinella* pseudospiralis outbreak in France / S. Ranque, B. Fauge`re, E. Pozio [et al.] // Emerg. Infect. Dis. – 2000. – Vol. 6. – P. 543–547.
35. *Trichinella* pseudospiralis foci in Sweden / E. Pozio, D. Christensson, M. Steen, G. Marucci // Veterinary Parasitology. – 2004. – Vol. 125. – P. 335–342.
36. *First* record of Trichinella pseudospiralis in the Slovak Republic found in domestic focus / Z. Hurníková, V. Šnábel, E. Pozio, K. Reiterová // Veterinary Parasitology. – 2005. – Vol. 128. – P. 91–98.
37. *Сапунов А.Я., Митникова О.А., Якимов Г.В.* Распределение личинок трихинелл разных видов в мышцах свиней при экспериментальном заражении // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: мат. док. науч. конф. – М., 1999. – С. 246–248.
38. *Сапунов А.Я., Митникова О.А., Сапунов В.А*. Таксономия, биоэкология и патогенность трихинелл (аналитический обзор и собственные исследования) // Вестник ветеринарии. – 1999. – № 2 (13). – С. 64–73.
39. *Успенский А.В.* К вопросу о трихинеллоскопии боровой дичи // Российский паразитологический журнал. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 69–71.
40. *Бессонов А.С.* Трихинеллез // Проблемы гельминтологии: сб. статей. – М.: ВНИИТИ, 1979. – Сер. Зоопаразитология. Т. 6. – С. 130–208.
41. *Миненко А.В., Селиверстов М.В.* Оценка влияния негативных факторов на развитие животноводства Алтайского края // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 1–2. – С. 109–112.

## REFERENCES

1. Angheben A., Mascarell, M., Zavarise G., et al., Outbreak of imported trichinellosis in Verona, Italy, *Euro Surveill*, 2008, No. 13, pp. 18891.
2. Boireau P., Vallée I., Roman T. et al., Trichinella in horses: a low frequency infection with high human risk, *Vet Parasitol,* 2000, No. 93, pp. 309–320.
3. Dupouy-Camet J., Trichinellosis: a worldwide zoonosis, *Vet Parasitol*, 2000, No. 93, pp.191–200.

4. Dubinský P., Stefancíková A., Kinceková J., et al., Trichinellosis in the Slovak Republic, *Parasite,* 2001, No. 8, pp. 100–102.
5. Ancelle T., De Bruyne A., Poisson D., Dupouy-Camet J., Outbreak of trichinellosis due to consumption of bear meat from Canada, France, *Euro Surveill,* 2005, No. 10, 051013.3, DOI: 10.2807/esw.10.41.02809-en.
6. Cui J., Wang ZQ., Outbreaks of human trichinellosis caused by consumption of dog meat in China, *Parasite*, 2001, No. 8, pp. 74–77.
7. Esposito D.H., Freedman D.O., Neumayr A. et al., Ongoing outbreak of an acute muscular Sarcocystis-like illness among travellers returning from Tioman Island, Malaysia 2011 – 2012, *Euro Surveill*, 2012, No. 17 (45), pp. 1–3.
8. Basuroy R., Pennisi R., Robertson T. et al., Parasitic myositis in tropical Australia. Med J Aust, *Euro Surveill,* 2008, No. 188 (4), pp. 254–256.
9. Airas N., Saari S., Mikkonen T. et al., Sylvatic Trichinella spp. infection in Finland, *Parasitol*, 2010, No. 96 (1), pp. 67–76, DOI: 10.1645/GE-2202.1. PMID: 19731970.
10. Gottstein B., Pozio E., Nöckler K., Epidemiology, Diagnosis, Treatment, and Control of Trichinellosis, *Clin Microbiol*, 2009, Vol. 22 (1), pp. 127–145, DOI: 10.1128/cmr.00026-08.
11. Andreyanov O.N., Uspensky A.V., Gorokhov V.V. and others, *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami* (Theory and practice of combating parasitic diseases), Moscow, 2016, No. 17, pp. 25–26. (In Russ.)
12. Bessonov A.S., *Trikhinellez* (Trichinosis), Kiev: Harvest, 1977, 109 p. (In Russ.)
13. Guzeeva T.M., *Uchenye zapiski: elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, Kursk, 2011, No. 3 (19), pp. 25–28. (In Russ.)
14. Davydova I.V., *Consilium Medicum,* 2017, No. 19 (8), pp. 32–40. (In Russ.)
15. *O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Novosibirskoy oblasti s 1999 po 2020 godu* (On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Novosibirsk region regions from 1999 to 2020), Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare 1999–2020. (In Russ.)
16. *Letter from Rospotrebnadzor dated 30.06.2014 No.01/7267-14-32* «On the incidence of trichinosis, teniarinosis, and teniosis in the Russian Federation in 2013». (In Russ.)
17. Pozio E., New patterns of Trichinella infection, *Veterinary parasitology,* 2001, No. 98 (1–3), pp. 133–148.
18. Zimenkov V.A., Sivkova T.N., Doronin-Dorgelinsky E.A., The spread of wild animal trichinosis in the Russian Federation, *Perm Agrarian Bulletin,* 2016, No. 4 (16), pp. 98–103. (In Russ.)
19. Mezentsev S.V., Razumovskaya V.V., *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 3 (113), pp. 69–74. (In Russ.)
20. Ponomarev N.M., Kostyukov M.A., Ponomarev A.N., *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, No. 1 (75). – pp. 69–73. (In Russ.)
21. Konovalov M.G., Kravchenko E.S., Starichenko A.V., *Vektor sovremennoy nauki* (Vector of modern science), Collection of abstracts based on the materials of the International Scientific and Practical Conference of students and young scientists, 2022, pp. 188–189. (In Russ.)
22. Nikitchenko V.E., Seregin I.G., Nikitchenko D.V., *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2020, No. 2 (50), pp. 149–155. (In Russ.)
23. Ermolenko A.V., Popov A.F., Zagney E.V. et al., *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, No. 1 (209), pp. 97–114. (In Russ.)
24. Guzeeva T.M., Optimizatsiya epidemiologicheskogo nadzora pri biogel'mintozakh (Optimization of epidemiological surveillance in case of anthelminthiasis), Dissertation of Doctor of Medical Sciences, Moscow, 2012, 234 p. (In Russ.)
25. Uspenskiy A.V., Arisov M.V., Gulyukin M.I. and others., *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurna*, 2019, No. 3, pp. 88–92. (In Russ.)
26. Konyaev S.V., Krivopalov A.V., Yanagida T. et al., *Sovremennye problemy obshchey parazitologii* (Modern problems of general parasitology), Proceedings of the International Scientific Conference, Moscow, 2012, pp. 171–174. (In Russ.)
27. Malkina A.V., Kotlov A.A., Ermolovich T.N. and others, *Aktual'nye voprosy veterinarnoy meditsiny* (Current issues of veterinary medicine), Materials of the X Sib. vet. conference dedicated to the 75th anniversary of NGAU, Novosibirsk, 2011, pp. 30–31. (In Russ.)
28. Mezentsev S.V., *Byulleten' nauki i praktiki*, 2018, Vol. 4, No. 9, pp. 127–134. (In Russ.)
29. Bonina O.M., Efremova E.A., Udaltsov E.A., *Veterinarnyy vrach*, 2017, No. 5, pp. 37–43. (In Russ.)
30. Gritsenko K.K., Efremova E.A., Udaltsov E.A., *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurnal*, 2018, No. 4, pp. 68–72. (In Russ.)
31. Kuteneva A.K., Efremova E.A., Udaltsov E.A., *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami*, 2017, No. 18, pp. 218–220. (In Russ.)

32. Son I.M., Skachkova E.I., Leonov S.A. i dr., *Otsenka epidemicheskoy situatsii po tuberkulezu i analiz deyatel'nosti protivotuberkuleznykh uchrezhdeniy* (Assessment of the epidemic situation of tuberculosis and analysis of the activities of tuberculosis institutions), Moscow: TSNIIOIZ, 2009, 56 p.
33. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichian P. et al., First outbreak of human trichinellosis caused by Trichinella pseudospiralis, *Clin Infect Dis*, 1998, Vol. 26, P. 111–115.
34. Ranque S., Fauge`re B., Pozio E. et al., Trichinella pseudospiralis outbreak in France, *Emerg. Infect. Dis*, 2000, Vol. 6, pp. 543–547.
35. Pozio E., Christensson D., Steen M., Marucci G., Trichinella pseudospiralis foci in Sweden, *Veterinary Parasitology*, 2004, Vol. 125, pp. 335–342.
36. Hurníková Z., Šnábel V., Pozio E, Reiterová K., First record of Trichinella pseudospiralis in the Slovak Republic found in domestic focus, *Veterinary Parasitology*, 2005, Vol. 128, pp. 91–98.
37. Sapunov A.Ya., Mitnikova O.A., Yakimov G.V., *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami* (Theory and practice of combating parasitic diseases), Mat. doc. scientific conference, Moscow, 1999, pp. 246–248. (In Russ.)
38. Sapunov A.Ya., Mitnikova O.A., Sapunov V.A., *Vestnik veterinarii*, 1999, No. 2 (13), pp. 64–73. (In Russ.)
39. Uspensky A.V., *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurnal*, 2020,Vol. 14, No. 3, pp. 69–71. (In Russ.)
40. Bessonov A.S., *Problemy gel'mintologii* (Problems of helminthology), Collection of articles, 1979, No. 6, pp. 130–208. (In Russ.)
41. Minenko AV., Seliverstov M.V., *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2020, No. 1-2, pp. 109–111. (In Russ.)

**Информация об авторах:**
*О.Б. Таловская,* преподаватель
*Е.А. Ефремова,* кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, доцент
*Е.А. Удальцов,* кандидат ветеринарных наук, доцент

**Contribution of the authors:**
*O.B. Talovskaya,* lecturer
*E.A. Efremova,* Candidate of Science in Veterinary Medicine, Lead Researcher, Associate professor
*E.A.Udaltsov,* Candidate of Science in Veterinary Medicine, Associate professor

**Вклад авторов:**
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# 95 ЛЕТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИБЛИОТЕКЕ

В 2025 году ФГБНУ «Центральная научная сельскохозяйственная библиотека» отмечает свое 95-летие! За эти годы ЦНСХБ превратилась из библиотеки с фондом в несколько тысяч книг в крупнейший в России современный научный библиотечно-информационный центр федерального значения по проблематике АПК. В библиотеке создана автоматизированная библиотечно-информационная система (АБИС), все технологические процессы автоматизированы, создан большой компьютерный парк, библиотека оснащена современным оборудованием, позволяющим создавать разнообразные информационные ресурсы. Информация, размещенная на сайте ЦНСХБ, доступна в любой точке земного шара, где есть Интернет. На смену традиционному обслуживанию читателей в стенах библиотеки пришли новые современные формы обслуживания, в том числе виртуальные, через коммуникативные сети. Благодаря этому практически все услуги стали доступны пользователю удаленно, их можно получить, не отходя от своего компьютера. Можно удаленно записаться в библиотеку, виртуально ознакомиться со всеми выставками, организуемыми в библиотеке, и заказать заинтересовавшую книгу, получить по электронной почте информацию по ранее заданной теме о поступлениях в базу данных «АГРОС», посмотреть оглавления периодических и продолжающихся изданий, поступивших в фонд ЦНСХБ, заказать электронную копию нужной статьи, задать вопрос библиографу и получить ответ по электронной почте. Современный фонд ЦНСХБ насчитывает свыше 3 млн единиц хранения отечественной и иностранной литературы на 32 языках мира по всем отраслям АПК. Ежегодно в ЦНСХБ поступает более 10 тыс. экземпляров книг, журналов, брошюр.

ЦНСХБ проводит научные исследования в области библиотековедения и информатики: создаются базы данных, разрабатываются новые технологии и технологические проекты, проводятся различного рода мониторинги состояния информационных ресурсов и их востребованности, документного входного потока; разрабатываются методики, методические пособия и т.д. ЦНСХБ является разработчиком общеотраслевых лингвистических средств, обеспечивающих индексирование документов, формирование и структурирование информационных массивов и эффективный поиск в них: отраслевого рубрикатора, информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию, авторитетного файла наименований НИУ. Основным информационным продуктом библиотеки является база данных «АГРОС», отражающая все текущие (отечественные и иностранные) поступления в фонды ЦНСХБ с 1992 г. Уникальность этой базы в том, что она наряду с информацией о книгах включает максимально полно информацию о статьях из периодических и продолжающихся изданий. Объем базы около 2,0 млн записей, она является крупнейшей русскоязычной базой по проблемам АПК; 30 % документов сопровождаются рефератами. Ежегодное пополнение – более 40 тыс. записей.

В ЦНСХБ работает межбиблиотечный и международный абонемент, библиотека является участником международной системы AGLINET, обеспечивающей получение необходимого документа из любой национальной сельскохозяйственной библиотеки мира. ЦНСХБ давно и плодотворно сотрудничает с ФАО ООН (международной организацией по сельскому хозяйству и продовольствию): является библиотекой–депозитарием документов, изданных ФАО, и осуществляет функции национального центра AGRIS ФАО в Российской Федерации. Принимая участие в создании этой международной корпоративной базы данных, ЦНСХБ подготавливает и пересылает реферативную информацию на английском языке о публикациях российских ученых в отечественных научных аграрных журналах, тем самым предоставляет мировому научному сообществу информацию о научных разработках российских ученых.

ЦНСХБ открыта для контактов и приглашает всех к сотрудничеству, которое, мы уверены, будет взаимовыгодным.

ВЕСТНИК НГАУ №3(76) 2025