ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого

Том 26
№ 2
2025

Vol. 26
No. 2
2025

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г. **Том 26, № 2, 2025**

Периодичность 6 раз в год Префикс DOI: 10.30766

(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Регистрационный номер ПИ №ФС77-72290 от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация и распространение результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского и охотничьего хозяйств при приоритетном освещении проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем северных территорий к меняющимся климатическим условиям.

Целевая аудитория – научные работники, преподаватели, аспиранты, докторанты, магистранты, специалисты АПК из России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Защита растений. Сельскохозяйственная микробиология и микология. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Кормопроизводство: полевое и луговое, кормление сельскохозяйственных животных. Зоотехния. Ветеринарная медицина. Звероводство, охотоведение. Механизация, электрификация, автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал включен в базы данных РИНЦ, ВИНИТИ, AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) на ведущей мировой платформе Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

Полные тексты статей доступны на сайтах электронных научных библиотек: eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru; ЭНСХБ: http://www.cnshb.ru/elbib.shtm; CYBERLENINKA: https://cyberleninka.ru; журнала: http://www.agronauka-sv.ru

Оформить подписку можно на сайте "Объединенного каталога "Пресса России" www.pressa-rf.ru по подписному индексу 58391, а также подписаться через интернет-магазин «Пресса по подписке» https://www.akc.ru

Электронная версия журнала: http://www. agronauka-sv.ru

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21

www. agronauka-sv.ru

E-mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Первое и третье фото
на первой странице обложки
А. Широких

Подписано к печати
22.04.2025
Дата выхода в свет
29.04.2025
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 25,81.
Тираж 100 экз. Заказ 14.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета
Адрес типографии:
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Agricultural Science Euro-North-East, 2025;26(2)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

The journal is published six times per year. DOI: 10.30766

The publication is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media

Registration number PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

Aim of the Journal – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agro-ecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

Target audience – scientists, university professors, graduate students, postdoctoral, masters, specialists of agro- industrial complex from Russia, countries of CIS and far-abroad countries.

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

  (Plant Growing. Plant protection. Agricultural Microbiology and Mycology. Storage and Processing of Agricultural Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Fodder Production: Field and Meadow; Livestock Feeding. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CHRONICLE

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications, where research results from «Candidate of Science» and «Doctor of Science» academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) on the world's leading platform Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

The full texts of articles are available on the websites of the following journals and scientific electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA, Google Scholar

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), Abstract journal and databases of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» www.pressa-rf.ru by the index 58391 or via the Internet shop «Pressa po Podpiske (Press by subscription)» https://www.akc.ru

Electronic version of the journal: http://www. agronauka-sv.ru

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenin str., 166a,
tel./fax (8332) 33-10-25;
tel. (8332) 33-07-21

www. agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

The first and third photos on the first page of the cover by A. Shirokikh

Passed for printing
22.04.2025
Date of publication
29.04.2025
Format 60x84$^{1/8}$. Offset paper.
Cond. pecs. l. 25.81.
Circulation 100 copies. Order 14.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FARC North-East. 610007, Kirov, Lenin str., 166a

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЗОРЫ/REVIEWS

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.223–238
УДК 636.082.453.53

Применение разбавителей спермы быков: современное состояние (обзор)

© 2025. Д. А. Старикова✉, О. Ю. Баркова, И. В. Чистякова, Н. В. Плешанов, А. В. Габова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В последние годы вспомогательные репродуктивные технологии в животноводстве включают искусственное оплодотворение, нуждающееся в высококачественной криоконсервированной сперме быков. Качественная заморозка зависит от оптимально подобранных параметров разбавителя спермы. Цель данного обзора – распространение знаний об использовании различных типов разбавителей и добавок к ним при криоконсервации спермы быков для улучшения её качества. В данной статье приведен обзор 64 научных работ отечественных и зарубежных исследователей по моделированию разбавителей для обеспечения максимального выхода качественной спермы после разморозки. Разработки создания оптимального разбавителя спермы для защиты сперматозоидов и сохранения качественной спермы от криоповреждения в течение длительного времени, которая может сохранять свои свойства в условиях жидкого азота продолжительное время, ведутся с середины XX века. В связи с этим для разбавления спермы быков перед криоконсервацией применяются как классические среды с известным составом (ЛЖГ, Tris, MOPS и др.), так и коммерческие среды (Andromed, BullXcell, OptiXcell и др.). Использование разнообразных вариантов разбавителей спермы быков исследователями разных стран предоставляет важную информацию о влиянии составов разбавителей на показатели качества мужских гамет, таких как подвижность, жизнеспособность, процент аномальных сперматозоидов и другие, после длительной криоконсервации. Кроме того, в последнее время широко применяется внесение в состав разбавителей для оптимизации их свойств добавок, имеющих природное или синтетическое происхождение и, соответственно, различное воздействие на сперму и сперматозоиды. Данный обзор может быть полезен для организаций и лабораторий, занимающихся разработкой технологий создания разбавителей спермы быков.

Ключевые слова: *сперматозоид, криоконсервация спермы, витрификация, крупный рогатый скот, Bos taurus*

Благодарности: работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-10041 (https://rscf.ru/project/22-76-10041/).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Старикова Д. А., Баркова О. Ю., Чистякова И. В., Плешанов Н. В., Габова А. В. Применение разбавителей спермы быков: современное состояние (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):223–238. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.223-238

Поступила: 14.11.2024 Принята к публикации: 07.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Use of bull sperm extenders: current status (review)

© 2025. Daria A. Starikova✉, Olga Yu. Barkova, Irena V. Chistyakova, Nikolay V. Pleshanov, Alina V. Gabova

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint Petersburg, Pushkin, Russian Federation

In recent years, assisted reproductive technologies in animal production have included artificial insemination in need of high-quality cryopreserved bull sperm. High-quality freezing depends on the optimally selected parameters of the semen diluent. In this connection, the purpose of this review is to spread the knowledge about the use of various types of diluents and additives to them in the cryopreservation of bull semen to improve its quality. This article provides an overview of 64 scientific papers of domestic and foreign researchers on modeling diluents in order to ensure the maximum yield of high-quality sperm after thawing. Research into the creation of an optimal sperm diluent to ensure sperm protection and save high-quality sperm

from cryoinjury during a long time, which can long preserve its properties in liquid nitrogen has been carried out since the mid-20th century. Classic media with a known composition (LPG, Tris, MOPS, etc.) and commercial media (Andromed, BullXcell, OptiXcell, etc.) are used to dilute bull sperm before cryopreservation. The use of different variants of bull sperm extenders by researchers from different countries provides important information on the effect of extender compositions on sperm quality parameters, such as motility, viability, percentage of abnormal sperm, etc., after long-term cryopreservation. Also, recently, the inclusion of additives of natural or synthetic origin in extenders, which exhibit different effects on sperm and spermatozoa, has been widely used. This review may be useful for organizations and laboratories engaged in the development of technologies for creating bull sperm extenders.

Keywords: *spermium, sperm cryopreservation, diluents vitrification, bovine, Bos taurus*

Acknowledgements: the research was funded by the Russian Science Foundation No. 22-76-10041 (https://rscf.ru/project/22-76-10041/).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Starikova D. A., Barkova O. Yu., Chistyakova I. V., Pleshanov N. V., Gabova A. V. Use of bull sperm extenders: current status (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):223–238. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.223-238

Received: 14.11.2024 Accepted for publication: 07.03.2025 Published online: 29.04.2025

В настоящее время вспомогательные репродуктивные технологии в животноводстве не обходятся без процедуры искусственного оплодотворения, требующего использования высококачественной криоконсервированной спермы быков, в том числе и от элитных особей [1]. Обеспечение в качественной сперме для осеменения маточного поголовья ответственность несут станции осеменения и селекции, которые являются производителями спермадоз. В связи с этим станции постоянно расширяют знания в области новейших технологий и инструментов, с помощью которых можно будет производить конкурентноспособный продукт. Это «стремление к идеалу» положило начало эпохе использования различных добавок в разбавителях спермы быков, которые ученые всего мира постоянно проверяют на возможность использования в рутинном производстве спермы на станциях осеменения и племенного разведения [2]. Свойства компонентного состава разбавителя направлены на продление продолжительности жизни сперматозоидов в разбавленном состоянии в негативных условиях окружающей среды и криоконсервации, в том числе во время процедуры замораживания-оттаивания, приводящей к криоповреждениям, осмотическим изменениям, колебанию pH, истощению энергии в процессе метаболизма и холодового шока, нарушению соотношения холестерина и фосфолипидов в биомембранах спермы из-за оттока холестерина и образования многочисленных активных форм кислорода [2]. Все эти нарушения напрямую ставят под угрозу качество и фертильность сперматозоидов, поэтому необходимо использовать комбинацию высококачественного разбавителя спермы и добавок, чтобы можно было сохранить высокие показатели качества сперматозоидов во время консервации и после оттаивания спермы.

Цель обзора. В настоящем обзоре предпринята попытка обобщить доступную информацию об исследованиях российских и зарубежных ученых в области разработки разбавителей спермы, которая подвергается криоконсервации. Проведенный анализ научных работ позволил нам не только проследить историю разработки разбавителей спермы быков, но и продемонстрировать значимость исследований в данной области с рассмотрением их преимуществ и недостатков.

Материал и методы. Поиск научных источников российских и зарубежных авторов был выполнен по следующим ключевым словам и словосочетаниям: сперматозоиды, сперма, быки, разбавитель, криоконсервация, добавки к разбавителям спермы, коммерческие разбавители. Необходимую литературу в рамках данной темы проводили с использованием: поисковых систем Google (https://www.google.ru) и Yandex (https://ya.ru/); онлайн-каталога Google-Scholar (https://scholar.google.ru/); библиотечных ресурсов и баз данных PubMed (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/); eLIBRARY.RU (http://elibrary.ru/defaultx.asp); ResearchGate (https://www.researchgate.net/); CyberLeninka (https://cyberleninka.ru/); Scopus (https://www.scopus.com/); WebofScience (https://apps.webofknowledge.com/). Всего было рассмотрено не менее 150 научных работ, из которых для анализа и составления научной работы включили 66 источников. Ограничения по дате не вводились в связи с тем, что кроме современных исследований были обсуждены и самые первые работы по разработке разбавителей спермы быков.

Основная часть. *История применения разбавителя спермы для последующего хранения.* Интерес к вопросам сохранения семени животных существовал с давних времен. Как известно, первое упоминание о сохранении спермы при низких температурах относится к 1803 году итальянским ученым Ладзаро Спалланцани. Охлаждение спермы на снегу в течение 5–10 мин с последующим отогревом при 81° по Фаренгейту (27,2 °C) привело к тому, что все сперматозоиды ожили. Данный эксперимент был проведен на жеребцах, и успешно повторен на сперме быка и человека [3]. Фундаментальные основы замораживания биологических объектов были заложены в начале XX века в трудах П. И. Бахметьева, которого сегодня считают отцом криобиологии. Сохранение семени при низких температурах стало прорывной идеей В. К. Милованова, наряду с разработкой методов искусственного оплодотворения. В 1947 году была установлена способность спермиев выдерживать глубокое замораживание с сохранением биологической полноценности и оплодотворяющей способности [4]. Именно бычья сперма стала первой, которую смогли успешно заморозить. В 1940 году зарубежные исследователи П. Х. Филлипс и Х. А. Ларди (P. H. Phillips and H. A. Lardy) открыли свойства желтка яиц домашней птицы, защищающие сперму от холодового шока во время охлаждения и возможность его применения в качестве криопротекторного агента [5]. Несмотря на значимость данного свойства желтка, использование этой техники широкого распространения не получило. Модернизация желтка яиц цитратом натрия улучшила результаты сохранения спермы при низкой температуре. Так, середина XX века – начало развития учеными разработок различных разбавителей спермы. Растворы, которые начали применять в качестве разбавителей с 1960-х годов и по настоящее время, например трис, TES, MES, HEPES, PIPES, MOPS и BES, обеспечивают хорошую буферную способность. Разбавители на основе триса широко используются сейчас для хранения замороженной спермы. Например, яичный желток в сочетании с трисом и цитратом натрия является распространенным ингредиентом разбавителей для замораживания спермы быков. Прорыв в истории консервации спермы произошел с открытием глицерина как криопротектора для хранения замороженной спермы. Впервые глицерин для замораживания спермы быков, баранов, жеребцов и кроликов при температуре -21 °C применили советские ученые А. Д. Берштейн и В. В. Петропавловский в 1937 году [1]. Позже об успешном использовании глицерина в качестве криопротектора при замораживании семени быков [6] были опубликованы результаты С. Полдж и др. (K. Polge et al., 1949), в том числе с получением жизнеспособного потомства [1, 7].

В настоящее время основные принципы замораживания заключаются в разбавлении спермы, использовании криопротектора и соответствующей скорости замораживания и оттаивания. Разбавление спермы является главным технологическим процессом криоконсервации, поскольку создает оптимальные условия для защиты сперматозоидов от повреждений в процессе криоконсервации, а также их высокой выживаемости после хранения. В целом, можно говорить об определении разбавителя, как химической среды, используемой для консервации, размножения и защиты сперматозоидов от различных потрясений при обработке, хранении и транспортировке, применяемой для искусственного оплодотворения. Разбавитель должен включать в себя следующие свойства: изотоничность (280–310 мОсм/кг); буферную способность для регулировки pH; защиту от холодового шока; источник энергии для оптимального метаболизма сперматозоидов; контроль микробного заражения; защиту при замораживании и оттаивании; способность сохранять фертильность сперматозоидов. Форма сохранения спермы в рамках лабораторий зависит от условий исследования, для большинства племпредприятий, занимающихся продажей спермадоз быков-производителей, приемлем вариант замороженной спермы, что в первую очередь объясняется транспортировкой на дальние расстояния.

На сегодняшний день нередко на племпредприятиях используют коммерческие разбавители, такие как Biladil (Minitube, Германия), BioXcell (IMVTechnologies, Л'Эгль, Франция), BullXcell (IMV Technologies, Л'Эгль, Франция) и другие. Однако, несмотря на большое разнообразие разбавителей спермы быков как классических, так и коммерческих, до сих пор нет унифицированного варианта. Все вышесказанное является доказательством актуальности разработки и оптимизации разбавителей спермы и в наши дни, хотя уже сделаны прорывные шаги в данной области.

Причины разработки разбавителей спермы. Причинами гибели спермиев при замораживании неразбавленной спермы являются создание гипертонической среды за счет изменения концентрации солей в плазме спермы, а также механическое повреждение протоплазмы спермиев из-за перехода мелких кристаллов в крупные. В связи с этим исследователи пришли к единому мнению о необходимости замораживания предварительно разбавленной спермы, которая может успешно сохраняться в жидком азоте не менее 20 лет, не утрачивая показатели качества и оплодотворяющую способность [8], тем самым устраняя фактор, влияющий на показатели спермопродукции «возраст быка-производителя» [9]. Кроме того, замораживание спермы позволяет применить метод оценки быков по качеству потомства, т. е. повышается уровень селекционно-племенной работы. Криоконсервация разбавленной спермы также имеет свои негативные последствия для сперматозоидов. Дж. Г. Бауст и др. (J. G. Baust et al., 2009) описали варианты стрессовых факторов, которым могут подвергнуться сперматозоиды в процессе охлаждения и замораживания: метаболическое разъединение; ионное дискордантное состояние; активация про- и антипротеазных ферментов и возникающий в результате клеточный ацидоз; потеря энергии; фазовый переход мембраны; дестабилизация цитоскелета; выработка свободных радикалов или активных форм кислорода [10]. В итоге воздействия данных стрессовых факторов у части клеток развиваются структурные изменения, такие как подвижность, проницаемость мембран; повреждение или развитие аномальных акросом т. д. Параллельно развиваются и молекулярные изменения – фрагментация ДНК, деградация мРНК, изменения метилирования ДНК, в комплексе ДНК/протамин и в микроРНК, эпигенетического содержания, уровней распространенности белка и распространенности транскриптов мРНК спермы. Повреждения на молекулярном уровне, которые возникают при криоконсервации, возможно больше, чем повреждения на структурном уровне [11, 12]. Часть клеток и вовсе после криоконсервации погибает. Всё это приводит к снижению количества качественных сперматозоидов.

Несколько десятилетий ученые пытаются уменьшить пагубное воздействие криоконсервации на сперматозоиды. Современный подход основан на так называемых защитных стратегиях, при которых в замораживаемую среду вводятся различные добавки, обеспечивающие защиту сперматозоидов от криоповреждения. Все предыдущие исследования криодобавок имели один общий подход: образцы обычно обрабатывали в соответствии с критериями включения/исключения, которые основаны на начальной подвижности сперматозоидов, без учета других индивидуальных свойств спермы. Таким образом, даже при соблюдении заранее установленных критериев включения образцов в исследование, некоторые из них могут иметь лучшие показатели, чем другие, что часто приводит к противоречивым или непоследовательным результатам.

Основные компоненты сред для разбавления спермы: яичный желток, глицерин. Поскольку исторически яичный желток, молоко, глицерин и другие компоненты использовали в качестве самостоятельных разбавителей, в настоящее время они успешно применяются в качестве основных компонентов составных классических сред для разбавления спермы быков. Стоит отметить, что наиболее яркими вариантами в качестве компонентов являются непроникающий через мембрану сперматозоида яичный желток и проникающий глицерин. В связи с этим криопротекторные свойства у данных компонентов будут проявляться по-разному.

Яичный желток содержит фосфатидилхолин (лецитин), фосфолипиды, липидные экстракты, фракции липопротеинов и специфические липопротеины, обеспечивающие защиту от холодового шока. Применение яичных желтков в качестве разбавителя семени делает его не только устойчивым к холодовому стрессу, но и улучшает способность фертильности сперматозоидов, а благодаря содержанию липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) желток защищает репродуктивные клетки [13, 14]. Количество яичного желтка в обычно используемых замороженных разбавителях бычьей спермы составляет 15–30 % по объему [15].

Исследования защитного эффекта яичного желтка сузились до изучения входящих в его состав определенных компонентов, определяющих криозащитное действие яичного желтка. Такими составляющими стали фосфолипиды, липидные экстракты, фракции липопротеинов, специфических липопротеинов и лецитин. Авторами многих работ было выдвинуто единое мнение об обеспечении защиты

сперматозоидов лецитином во время окислительного стресса и процесса замораживания [16, 17, 18, 19, 20, 21]. В то же время липопротеины низкой плотности (ЛПНП) яичного желтка выполняют защитные функции, покрывая мембрану сперматозоида во время замораживания и оттаивания, тем самым предотвращая её повреждение [22]. Однако наличие в гранулах желтка веществ, в том числе липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) и минералов, подавляет дыхание сперматозоидов и снижает их подвижность [14].

Свойство глицерина проникать через мембрану клетки было использовано для разработки проникающих разбавителей с целью замораживания бычьей спермы. Подобными средами для разбавления спермы на основе триса и цитрата являются модификации разбавителя в виде трис-желток-глицерин, трис-фруктоза-желток-глицерин и цитрат-желток-фруктоза-глицерин. Однако было показано, что при внесении глицерина в разбавитель происходит денатурация белка, изменение взаимодействия актина и утоньшение плазматической мембраны, что в целом оказывает токсичное влияние на сперму [23]. В связи с этим данные варианты разбавителей в последние годы не находят широкого применения.

Таким образом, в настоящее время многие классические компоненты сред для разбавления спермы используются совместно в составе разбавителей спермы быков. При этом учитываются свойства составляющих криопротекторов для достижения необходимого эффекта. Подтверждением вышесказанному являются работы исследователей, разрабатывающих составы разбавителей спермы [2, 15, 24] (табл.).

Классические среды для разбавления спермы быка. Существует разнообразие классических разбавителей спермы, которые можно собрать в условиях лаборатории или племхозяйства, при этом не требующих специального оборудования или навыков специалиста. В настоящее время используются различные типы разбавителей как для домашнего, так и коммерческого применения, которые имеют свои собственные составы разбавителей, например, трис-яичный желток и трис-обезжиренный яичный желток. Одним из таких разбавителей также является обезжиренный молоко-яичный желток – это среда, содержащая липопротеин и лецитин для поддержания жизнеспособности сперматозоидов и их защиты от холодового шока. Молоко содержит фермент лактенин, который разрушается при нагревании. Нагревание молока до температуры более 80 °C высвобождает сульфгидрильные группы (–SH), действующие как восстановительные вещества и регулирующие окислительный метаболизм спермы [15]. Среди разбавителей в отдельную группу можно выделить pH-буферные растворы, такие как лактозо-желточно-глицериновая (ЛЖГ), лактозо-желточно-цитратно-глицериновая (ЛЖЦГ), желточно-цитрато-глицериновая (ЖЦГ) среды, трис(гидроксиметил)аминометановый буфер (Tris), 2-(N-морфолино)этансульфоновая кислота (MES), 4-(2-гидроксиэтил)пиперазин-1-этансульфоновая кислота (HEPES), 1,4-пиперазиндиэтансульфоновая кислота (PIPES), 3-(N-морфолино)пропансульфоновая кислота (MOPS), солевой раствор Хэнкса (HBSS) и другие.

Представленные выше среды для разбавления спермы с известным составом, такие как трис (Tris), TES, MES, MOPS и т. д., могут быть использованы как в исследовательских целях, так и на племпредприятиях. Необходимо соблюдать протокол использования разбавителей, требующий использования среды в течение 3-4 ч с момента ее приготовления. При этом, во время разбавления спермы среду следует держать в водяной бане или термостате с целью поддержания необходимой температуры. Несоблюдение правил работы с разбавителями спермы может привести к необратимым последствиям.

ЛЖГ или ЛЖЦГ. Наиболее широко распространенными средами являются ЛЖГ или ЛЖЦГ. Основными компонентами этих сред являются лактоза, цитрат натрия, желток куриных яиц и глицерин. При заморозке спермы на племпредприятиях применяются двухфракционные среды, к которым относится ЛЖЦГ, вследствие чего сперму последовательно дважды разбавляют. Фракция А без содержания глицерина, являющаяся первой фракцией, используется для начального разбавления и охлаждения спермы, вторая фракция Б, содержащая глицерин, добавляется после охлаждения спермы до +5 °C. Внесение второй фракции предотвращает возможные повреждения сперматозоидов и обеспечивает проявление действия антибиотиков. При использовании данных разбавителей используется метод замораживания спермы в гранулах.

Таблица – **Классические и коммерческие среды для разбавления спермы крупного рогатого скота перед криоконсервацией /**
Table – **Classical and commercial media for dilution of bovine semen before cryopreservation**

Контрольные данные / Control data		*Опытные данные / Data of the experiment*		*Ссылка / Reference*
контрольные условия / control conditions	*показатели контрольных образцов / control sample parameters*	*состав опытного разбавителя / composition of the experimental diluent*	*результаты опытных образцов / results of experimental samples*	
1	2	3	4	5
Нативная сперма / Native sperm	Подвижность 70 %, жизнеспособность 93,84±0,93 %, неповрежденная мембрана 93,28±0,90 % / Mobility 70 %, viability: 93.84± 0.93, intact membrane: 93.28± 0.90 %	3,03 г **Tris**, 1,78 г лимонной кислоты, 1,25 г фруктозы, 6 % **глицерина**, 20 % **яичного желтка**, 1000 МЕ/мл пенициллина, 1 мг/мл стрептомицина / 3.03 g Tris, 1.78 g citric acid, 1.25 g fructose, 6 % glycerol, 20 % egg yolk, 1000 IU/ml penicillin, 1 mg/ml streptomycin	Общая подвижность: 61,08±4,20 %, прогрессивная подвижность 53,20±3,96 %, жизнеспособность 80,56±0,46 %, неповрежденная мембрана 79,58±0,55 % / Total mobility: 61.08±4.20 %, progressive mobility 53.20±3.96 %, viability 80.56±0.46 %, Intact membrane 79.58±0.55 %	[15]
Криоконсервация в контрольной среде: 2,42 г **Tris**, 1,48 г лимонной кислоты, 1,00 г фруктозы, 6,6 мл **глицерина**, 25 мг гентамицина, 50 000 МЕ пенициллина на 100 мл стерильной воды / Cryopreservation in control medium: 2.42 g Tris, 1.48 g citric acid, 1.00 g fructose, 6.6 ml glycerol, 25 mg gentamicin, 50,000 IU penicillin per 100 ml sterile water	Общая подвижность 47,70±1,41 %, жизнеспособность 60,00±1,00 % / Mobility 47.70±1.41 %, viability 60.00±1.00 %	Контрольная среда с добавлением 20 мкМ Y-27632 (Cayman Chemical, Ann Arbor, MI; кат. № 717140) / Control medium with addition of 20 µm Y-27632 (Cayman Chemical, Ann Arbor, MI; cat. No.717140)	Подвижность 54,28±1,51 %, жизнеспособность 68,33±1,66 % / Mobility 54.28±1.51 %, viability 68.33±1.66 %	[25]
Криоконсервация в контрольной среде: 30 г **Tris**, 17 г лимонной кислоты, 12,5 г фруктозы, 0,20 г сульфата амикацина, 2 мл эмульгатора Orvus WA Pastes (Procterand-Gamble, Цинциннати, Огайо, США) и 20 % яичного желтка на 1000 мл разбавителя / Cryopreservation in control medium: 30 g Tris, 17 g citric acid, 12.5 g fructose, 0.20 g amikacin sulfate, 2 ml Orvus WA Pastes emulsifier (Procter and Gamble, Cincinnati, OH, USA) and 20 % egg yolk per 1000 ml diluent	Общая подвижность 58,52 %, прогрессивная подвижность 40,48 % / Total motility 58.52 %, progressive motility 40.48 %	Опыт 1. Botu-Bov (коммерческий разбавитель, содержащий в своем составе инновационные вещества для защиты целостности сперматозоидов) +20 % яичного желтка / Experiment 1. Botu-Bov (a commercial extender containing innovative substances to protect the integrity of spermatozoa) +20 % egg yolk Опыт 2. Botu-Bov (коммерческий разбавитель, содержащий в своем составе инновационные вещества для защиты целостности сперматозоидов) +1 % лецитина / Experiment 2. Botu-Bov (a commercial diluent containing innovative substances to protect the integrity of spermatozoa) + 1 % lecithin	Общая подвижность 61,24 %, прогрессивная подвижность 49,24 % / Total mobility 61.24 %, progressive mobility 49.24 % Общая подвижность 31,43 %, прогрессивная подвижность 24,90 % / Total mobility 31.43 %, progressive mobility 24.90 %	[26]

Продолжение табл.

1	2	3	4	5
Нативная сперма / Native sperm	Подвижность 72,6±9,0 %, доля клеток с поврежденной мембраной 96,9±1,1 %, целостность акросомы 91,9±4,9 %, некроз клеток 1,5±0,2 % / Mobility 72.6±9.0 %, the proportion of cells with a damaged membrane is 96.9±1.1 %, acrosome integrity 91.9 ± 4.9 %; cell necrosis 1.5±0.2 %	Triladil (коммерческий разбавитель, содержит в своем составе яичный желток, TRIS, лимонную кислоту, сахар, буферы, глицерин и стерильную воду, антибиотики (тилозин, гентамицин, спектиномицин, линкомицин) / Triladil (commercial diluent, contains egg yolk, TRIS, citric acid, sugar, buffers, glycerin and sterile water, antibiotics (tylosin, gentamicin, spectinomycin, lincomycin)	Подвижность 54,1±6,4 %; митохондриальный мембранный потенциал ниже, чем в нативе (P < 0,001); повышенная концентрация цАМФ (P<0,01); доля клеток с поврежденной мембраной 69,5±2,6 %, целостность акросомы 73,1±5,6 %; некроз клеток 13,3±1,5 % / Mobility: 54.1±6.4 %, mitochondrial membrane potential is lower than in native (P < 0.001), increased concentration of cAMP (P < 0.01), the proportion of cells with a damaged membrane is 69.5±2.6 %, acrosome integrity 73.1±5.6 %, cell necrosis 13.3±1.5 %	[27]
Сравнение с разбавителями BullXcell (коммерческий разбавитель, содержит в своем составе Tris, стерильную воду, яичный желток) и Andromed (коммерческий разбавитель, содержит в своем составе фосфолипиды, Tris, лимонную кислоту, сахара, антиоксиданты, буферы, глицерин, стерильную воду и антибиотики (тилозин, гентамицин, спектиномицин, линкомицин) / Comparison with BullXcell (commercial diluent, contains Tris, sterile water, egg yolk) and Andromed Andromed (commercial diluent, contains phospholipids, Tris, citric acid, sugars, antioxidants, buffers, glycerol, sterile water and antibiotics (tylosin, gentamicin, spectinomycin, lincomycin) diluents	Показатели при использовании BullXcell: общая подвижность 51,9±1,76 %, прогрессивная подвижность 41,8±1,82 % / Indicators by using BullXcell: total mobility 51.9±1.76 %, progressive mobility 41.8±1.82 % Показатели при использовании Andromed: общая подвижность 41,93±3,61 %, прогрессивная подвижность 31,7±2,97 % / Indicators by using Andromed: total mobility 41.93±3.61 %, progressive mobility 31.7±2.97 %	OptiXcell (коммерческий разбавитель, содержит в своем составе липосомы) / OptiXcell (commercial diluent, contains liposomes)	Общая подвижность 59,0±4,52 %, прогрессивная подвижность 45,7±4,09 % / Total mobility 59.0±4.52 %, progressive mobility 45.7±4.09 %	[28]

При проведении оценки показателей качества сперматозоидов быков после оттаивания большое количество с поврежденной акросомой (6,0±1,3), а также низкая способность к оплодотворению (в среднем 77 %) были продемонстрированы при применении молочнокислых разбавителей в сравнении с контрольным ЛЖГ, с применением которого способность к оплодотворению составила всего 66 % [29].

Tris, *или трис(гидроксиметил)аминометановый буфер,* широко используется в качестве буферного компонента для растворов, используемых в различных биохимических и молекулярных анализах. Особенно часто встречаются сочетания Tris с другими буферами в качестве разбавителей для криоконсервации спермы млекопитающих. Показано, что титрование различных буферных растворов с Tris не оказывает отрицательного влияния на подвижность спермы быка после размораживания [30], чего не наблюдалось в аналогичных работах на образцах спермы других видов животных [25].

MOPS, или 3-(N-морфолино)пропансульфоновая кислота, представлена в двух формах: в виде свободной кислоты или в виде конъюгата натриевой соли. При тестировании данного буферного раствора было оказано заметное влияние на поддержание подвижности сперматозоидов после хранения при более низких температурах [30].

Таким образом, разнообразие вариантов составных сред для разбавления спермы быков позволило исследователям получить важную информацию о влиянии определенных составов разбавителей в сравнительном аспекте на показатели качества мужских гамет при длительном хранении в условиях криоконсервации.

Коммерческие разбавители спермы быков. Одним из наиболее значимых факторов, снижающих качество спермы, является холодовой шок, перенесенный при замораживании и оттаивании. Степень травм от холодового шока ранжируется в зависимости от состава разбавителей, используемых криопротекторов [31]. Для снижения криоповреждения и улучшения жизнеспособности после оттаивания разработаны различные разбавители, в том числе созданные в коммерческих целях. Производители коммерческих разбавителей зачастую патентуют состав, что исключает возможность узнать его весь и пропорции компонентов, однако, основные из них известны. В связи с этим все коммерческие среды можно разделить на две категории – содержащие в своем составе компоненты животного происхождения и не содержащие таковых.

Компоненты животного происхождения, находящиеся в составе коммерческих разбавителей, например, яичный желток или обезжиренное молоко, могут стать источниками различных заболеваний животных. В связи с этим особое внимание сосредоточено на стандартизации компонентов и создании определенного химического состава различных разбавителей для спермы. Ранее для криоконсервации спермы крупного рогатого скота применяли коммерческие разбавители на основе 20%-го яичного желтка [32]. В настоящее время имеются варианты с содержанием как натуральных компонентов, так и не содержащих продуктов животного происхождения. К разбавителям на основе яичного желтка относятся – Triladyl (Minitube, Тифенбах, Германия), Steridyl (Minitube, Тифенбах, Германия), Botu-Bov (Botupharma, Ботукату, Сан-Паулу, Бразилия), BullXcell (IMVTechnologies, Л'Эгль, Франция), Bovidyl (Minitube, Тифенбах, Германия); на основе кокосовой воды – ACP-111 (ACP Biotecnologia, произведенная в State-UniversityofCeará); трис-концентрат (Gibco BRL, GrandIsland, NY, USA); на основе обезжиренного молока – Laciphos (IMV Technologies, Л'Эгль, Франция). Коммерческие разбавители OptiXcell (IMV Technologies, Л'Эгль, Франция), Bioxcell (IMV Technologies, Л'Эгль, Франция) и AndroMed (Minitube, Тифенбах, Германия), также используемые для консервации спермы, не содержат животных белков.

Данные исследования Э. М. Мерфи и др. (E. M. Murphy et al., 2018) показали, что разбавители на растительной основе могут эффективно использоваться в качестве альтернативы разбавителям на основе животных компонентов в замороженной сперме с целью исключения распространения заболеваний [28]. В. А. Айрес и др. (V. A. Aires et al.) (2003) отметили, что разбавитель Andromed, содержащий соевый лецитин, был эффективнее по сравнению с разбавителем на основе яичного желтка при криоконсервации спермы быков голштинской породы. Он лучше всего снижает скорость понижения качества спермы быков на этапах консервации [33]. По результатам другого исследования, разбавитель Biladyl, содержащий трис-яичный желток, в сравнении с использованными

индивидуально Andromed и Biociphos дал более высокие результаты с точки зрения выживаемости спермы [34]. В то же время, показано, что разбавитель на основе трис-яичного желтка лучше сохраняет замороженную сперму, чем разбавители на растительной основе [33, 34].

Таким образом, представленное разнообразие коммерческих сред демонстрирует успешное использование их как в практике лабораторий, так и в практике племпредприятий с высококачественным результатом. Кроме того, стоит отметить преимущества коммерческих сред над сборными в их соответствии стандартам и безопасности в технологии разбавления спермы.

Добавки к разбавителям. *1. Добавки, обладающие антиоксидантной активностью.* Криоконсервация спермы быков является фундаментальным методом вспомогательных репродуктивных технологий в животноводстве, однако одним из главных ее недостатков является снижение качества спермы из-за окислительного стресса. В процессе замораживания происходит отток холестерина из мембраны сперматозоидов с нарушением соотношения холестерина и фосфолипидов, что приводит к повышенному количеству АФК [35]. Нейтрализующая способность антиоксидантной защиты спермы и особенно сперматозоидов с их ограниченным запасом антиоксидантных ферментов и мембранами, богатыми полиненасыщенными жирными кислотами, достаточно слаба. Семенная плазма содержит ферментные и неферментные системы антиоксидантной защиты от АФК. К основным антиоксидантным ферментам спермы относят: супероксидмутазу, ускоряющую процесс разрушения супероксидиона; каталазу, разрушающую молекулы перекиси водорода; глутатионпероксидазу, отвечающую за каталитическую редукцию перекиси водорода и органических пероксидов. Неферментная антиоксидантная система спермы включает широкий спектр веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, к которым относятся некоторые витамины, глутатион, карнитин и минералы селен, цинк, медь и хром [36]. Однако с избытком АФК обширные варианты защиты спермы с помощью антиоксидантной системы могут не справиться. В результате АФК индуцируют фрагментацию ДНК, снижают потенциал митохондрий и изменяют текучесть мембран. Все это негативно влияет на подвижность и жизнеспособность сперматозоидов, одновременно вызывая транслокацию и олигомеризацию антиоксидантных белков, которые имеют решающее значение для защиты сперматозоидов от окислительного повреждения. Сперматозоиды особенно уязвимы к окислительному стрессу, поскольку их мембраны богаты полиненасыщенными жирными кислотами, а в их цитоплазме запасы антиоксидантных ферментов ограничены [37].

Глутатион (GSH) (Lc-глутамил-L-цистеинил-глицин) – является основным небелковым тиоловым соединением. В клетках млекопитающих минимизирует или даже предотвращает внутриклеточные повреждения, вызванные АФК, тем самым смягчая окислительный стресс в сперматозоидах млекопитающих. Кроме того, глутатион играет ключевую роль в функционировании митохондрий и стабилизации клеточной мембраны сперматозоидов [38, 39]. В исследовании С. Гангвар и др. (C. Gangwar et al., 2018) было показано, что при добавлении 0,5 мМ глутатиона к разбавителю спермы быка увеличилась подвижность размороженных сперматозоидов, количество живых сперматозоидов и целостность акросомы [40].

L-цистеин содержится в клетках и является членом группы полунезаменимых аминокислот-антиоксидантов [41], аналогами являются цистеин HCl, L-цистеин и N-ацетил-L-цистеин. Данная аминокислота подавляет выработку образующихся в результате метаболизма сперматозоидов свободных радикалов или снижает уровень активных форм кислорода [42, 43]. Данные свойства L-цистеина способствуют стабилизации процента общей подвижности, прогрессивной подвижности, целостности акросом и целостности плазматической мембраны [44].

Витамины. Для улучшения качества семени при криоконсервации в разбавители добавляют различные витамины, поскольку они являются неферментативными антиоксидантами [45, 46].

Витамин Е – клеточный стабилизатор ненасыщенных липидов против окислительного разрушения, поддерживает структурную и функциональную целостность на субклеточном уровне. Может разрывать ковалентные связи, образующиеся между АФК и боковыми цепями жирных кислот в липидах клеточных мембран. Добавление 0,134 г/100 мл витамина Е к сперме быков симментальской породы увеличило подвижность, снизило смертность и процент аномалий сперматозоидов [47]. Внесение витамина Е перед криоконсервацией в концент-

рациях 60 и 120 мкМ в разбавители спермы, основанные на среде Tris и включающие яичный желток, обеспечивало более высокую целостность плазматической мембраны, митохондрий и кинематических параметров сперматозоидов быков [48].

Витамин С (аскорбиновая кислота) – водорастворимый антиоксидант с низкой токсичностью и высокой эффективностью, способный удалять радикалы кислорода. Нейтрализует воздействие H_2O_2 на ДНК сперматозоидов, перерабатывает неактивный витамин Е и снижает перекисное окисление липидов. В работе Шри Супарьяти и др. (Sri Suharyati et al., 2024) витамин С добавляли к разбавителям трис-яичному желтку в концентрации 0,2 г/мл, цитрату яичного желтка – 0,5 г/мл и обезжиренному молоку – 0,25 г/мл, что определило высокие результаты по подвижности, проценту живых сперматозоидов и снизило долю аномальных сперматозоидов брахманских быков после криоконсервации [49].

Витамин В12 – водорастворимый витамин, который функционирует как кофермент в различных биохимических реакциях, таких как синтез метионина и метаболизм аминокислот. В работе Дж. Х. Ху и др. (J. H. Hu et al., 2009) показано, что введение витамина В12 к разбавителям в концентрации 2,5 мг/мл повысило качество замороженной спермы быков, процент подвижности сперматозоидов и улучшило характеристики движения [13]. Аналогичные результаты получили Х. Ахмед и др. (H. Ahmed et al., 2021) при изучении влияния витамина В12 на сперму быков-буйволов [50]. В вышеуказанной работе дано положительное влияние витамина в концентрациях 4 и 5 мг/мл на поступательную подвижность сперматозоидов, активность, митохондриальный мембранный потенциал и целостность акросомы. Кроме того, введение витамина В12 в концентрации 5 мг/мл в образцы спермы до криоконсервации увеличило концентрацию АТФ, а также плазмалемму и целостность ДНК в сравнении с образцами, замороженными без витамина.

Сахара́ – ксилоза, фруктоза, глюкоза, галактоза, мальтоза, сахароза и раффиноза эффективно используются для криоконсервации спермы быков в качестве криопротекторных агентов. В разбавителях сахара́ являются источником энергии для клеток, а также поддерживают жизнеспособность сперматозоидов после размораживания. Примером служит работа К. К. Перес-Мартин и др. (C. C. Pérez-Marín et al., 2023), в которой сравнивали влияние сахарозы и трегалозы в концентрациях 0,15 и 0,3М на показатели подвижности, жизнеспособности, статуса акросомы и перекисного окисления липидов мембран. В результате проведенного исследования образцы с трегалозой (0,15М) и сахарозой (0,3М) содержали более высокую по качеству сперму, что говорит о необходимости подбора концентрации для каждого сахара в равных условиях [51]. Изучение воздействия сахара рафинозы в концентрации 25 мМ в сочетании с 3 мМ глутамина в составе разбавителя Optidyl демонстрирует улучшение результатов по показателю подвижности сперматозоидов, подсчитанного с помощью программы CASA (61,0±4,4 %) и защитному эффекту для акросом (12,0±0,6 %) в сравнении с аналогичной средой без раффинозы [52].

2. Антифризные белки. В последнее время особый интерес у ученых представляет влияние антифризных белков (АФБ) на сохранность спермы быков при криоконсервации [53]. Одними из АФБ являются LeIBP и AFPIII, влияние которых было изучено Х. Джанг и др. (H. Jang et al., 2020). Активность и жизнеспособность сперматозоидов в группе, обработанной LeIBP, была выше, чем в группе с AFPIII. При этом выявлено, что LeIBP является полезным криопротективным адъювантом для криоконсервации спермы быка. Также в работе показана дозозависимость белка, наиболее эффективной концентраций стала 0,1 мкг/мл LeIBP [54]. В другом исследовании внесение AFPI в разбавитель спермы привело к образованию параллельных кристаллов при 0,1 мкг/мл, 1 и 10 мкг/мл. Расположение сперматозоидов между кристаллами влияет на осмотическую резистентность в сперматозоидах, которая коррелирует с фертильностью быка. Из этого следует, что сперматозоиды быка, криоконсервированные в присутствии AFPI, могут иметь повышенную фертильность *in vivo* [55].

3. Ингибитор Rho-ассоциированной киназы Y-27632. Положительное влияние на качественные показатели криоконсервированной спермы оказывает применение селективного и мощного ингибитора Rho-ассоциированной киназы (Roh/Rock) Y-27632, контролирующего экспрессию ROCK I и ROCK II. Внесение этого ингибитора в концентрации 5–10 мкМ в разбавитель спермы быков повышало подвижность после размораживания [56]. Кроме того,

введение Y-27632 в концентрации 20 мкМ снижало экспрессию генов, связанных с апоптозом, а также продукцию АФК и уровней концентрации малонового диальдегида, индикатора перекисного окисления липидов, что свидетельствует об антиапоптотическом и антиоксидантном действии белка в разбавителе. Данный ингибитор улучшал кинематику и функциональные параметры спермы и понижал фрагментацию ДНК, в следствие чего увеличивалась скорость дробления бластоцисты [32].

4. Добавки растительного происхождения. Альтернативным взглядом стало использование веществ, полученных из растений с антиоксидантными, ингибиторными свойствами, улучшающими показатели спермы. Одним из представителей растительных добавок является полифенол зеленого чая – эпигаллокатехин-3-галлата (EGCG). Он обладает антиоксидантными, хелатирующими, антиапоптотическими и противовоспалительными свойствами. Добавление очищенного EGCG в дозировке 0,1 мг/100 мл в разбавитель трис-яичный желток не показало снижения подвижности, жизнеспособности или аномалий по сравнению с контрольной обработкой [57]. Еще одним веществом растительного происхождения является натуральный полифенол винограда, мощный антиоксидант – ресвератрол. В работе Х. Ахмед и др. (H. Ahmed et al., 2020) было изучено его действие в концентрациях 10 мкМ, 20мкМ, 50 мкМ и 100 мкМ в разбавителе трис-лимонная кислота на показатели качества сперматозоидов быков буйволов (*Bubalus bubalis*). Результаты привели к однозначному выводу о положительном влиянии вещества на качественные параметры спермы, уровни антиоксидантных ферментов и оплодотворяющую способность. Кроме того, введение ресвератрола в разбавители оказало смягчающий эффект на фрагментацию ДНК и перекисное окисление липидов в сперматозоидах буйвола во время криоконсервации [58].

Фитогормоны также продемонстрировали положительное воздействие на показатели качества спермы. В работе С. Г. Лебедева изучено действие одного из фитогормонов с низкой токсичностью и без мутагенного действия – эпибрассинолида на подвижность, выживаемость, соотношение нормальных и патологических форм сперматозоидов, а также сохранность акросомы в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Показано, что введение 0,0001 мл эпибрассинолида в разбавитель спермы оказывает более выраженное положительное действие на все показатели качества спермы, особенно в зимне-осенний период [59].

5. Ионы. К концу прошлого столетия начали изучать влияние добавления в разбавители спермы для поддержания осмолярности различные аминокислоты, α-кетокислоты, комбинации солей и углеводов, а также электронейтральных молекул, содержащих положительно и отрицательно заряженные части, так называемых цвиттер-ионов [60]. Например, в работе Э. Ф. Грэм и др. (E. F. Graham et al., 1972) было выявлено, что из семи различных буферов цвиттер-ионов N-трис(гидроксиметил)метил-2-аминоэтансульфоновая кислота (TES) с трисом в качестве основы для титрования оказалась наиболее удовлетворительной буферной системой для разбавления сперматозоидов быка для замораживания [30]. В другой работе М. Колосса, Х. Зайберт (M. Kolossa, H. Seibert, 1990) продемонстрировано снижение двигательной активности сразу после размораживания сперматозоидов, замороженных в цвиттер-ионной буферной системе HEPES-Tris/Citrate с добавлением 0,9%-го лецитина в сравнении с яичным желтком, однако, через 2 часа инкубации при 37 °C результат получили противоположный [61].

6. Противомикробные препараты. В сперме быков наблюдается наличие множества различных бактерий, например, *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Kl. Pyogenes*, *P. Aurogenosa* и другие, в том числе способные выдерживать сверхнизкие температуры при криоконсервации спермы, которые негативно влияют на ее показатели, снижая жизнеспособность, подвижность сперматозоидов и вызывая их агрегацию [62]. Используемые в разбавителях спермы млекопитающих противомикробные препараты, такие как пенициллины и цефалоспорины, изменяют процесс синтеза клеточной стенки бактерий, вызывая её лизис с дальнейшей гибелью клеток. Другая группа препаратов включает аминогликозиды, макролиды и линкозамиды, являющиеся ингибиторами синтеза бактериального белка [63, 64].

Альтернативным вариантом является использование веществ, обладающих антимикробными эффектами. Например, было показано, что применение 0,4%-го маточного молочка улучшало жизнеспособность и фертильность сперматозоидов быков [65], а использование 5%-го экстракта куркумина снижало количество бактерий на 32 % и оказало

небольшое положительное воздействие на кинематику сперматозоидов [66].

Таким образом, на сегодняшний день в научных источниках представлены разнообразные варианты добавок к разбавителям спермы быков, имеющих природное или синтетическое происхождение. Несмотря на то, что данные компоненты проявляют кардинально различное воздействие на сперму и сперматозоиды их применение имеет единую цель – сохранение качественной спермы в течение длительного времени в криоконсервированных условиях.

Заключение. В настоящее время вспомогательные репродуктивные технологии в животноводстве не могут существовать без этапа сохранения спермы быков путем замораживания. Криоконсервация подразумевает хранение максимального числа качественных гамет при сверхнизких температурах, в связи с чем на протяжении более полувека ученые создают универсальные оптимальные условия для разбавления спермы. За столь продолжительный срок научным сообществом разработаны различные типы как составных, так и коммерческих разбавителей, направленных на сохранение максимальной фертильности сперматозоидов во время хранения. Однако эффективное совершенствование создания высококачественного разбавителя, играющего незаменимую роль в улучшении качества спермы после размораживания по показателям жизнеспособности, подвижности сперматозоидов, целостности плазматической мембраны и акросомы, митохондриального мембранного потенциала, кинематики и другим, требует комплексного подхода. Результаты экспериментов по исследованию биохимических, молекулярных и генетических маркеров сперматозоидов также могут быть основой для модернизации существующих протоколов создания разбавителей. Использование этих подходов сможет привести к оптимизации состава разбавителей, что является своевременной задачей в мировом научном сообществе. Особенно стоит отметить актуальность данной задачи для России в связи с санкционной политикой иностранных государств в последние годы, приведшей к затруднению логистики и увеличению ценовой категории коммерческих разбавителей спермы иностранного производства. В связи с чем обеспечение развития племенного животноводства за счет внедрения конкурентоспособных отечественных технологий и разработок разбавителей спермы, не уступающих по результативности иностранным аналогам, является безусловно высокоперспективным.

References

1. Зиновьева Н. А., Позябин С. В., Чинаров Р. Ю. Вспомогательные репродуктивные технологии: история становления и роль в развитии генетических технологий в скотоводстве (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2020;55(2):225–242. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.225rus EDN: YVDOIN

Zinovieva N. A., Pozyabin S. V., Chinarov R. Yu. Assisted reproductive technologies: the history and role in the development of genetic technologies in cattle (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(2):225–242. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.225rus

2. Корочкина Е. А., Мороз А. И. Значение разбавителей спермы разных видов сельскохозяйственных животных в процессе ее криоконсервации. Генетика и разведение животных. 2022;(4):108–113. DOI: https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-108-113 EDN: MZPQXD

Korochkina E. A., Moroz A. I. The importance of sperm diluents of different types of farm animals in the process of the cryopreservation. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2022;(4):108–113. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-108-113

3. Lonergan P. Review: Historical and futuristic developments in bovine semen technology. Animal. 2018;12(s1):s4–s18. DOI: https://doi.org/10.1017/S175173111800071X

4. Милованов В. К. Биология воспроизведения и искусственное осеменение животных: биол.-зоотех. монография. М., 1962. 696 с.

Milovanov V. K. Reproduction biology and artificial insemination of animals: biol.-zootechnical. the monograph. Moscow, 1962. 696 p.

5. Phillips P. H., Lardy H. A. A Yolk-Buffer Pabulum for the Preservation of Bull Semen. Journal of Dairy Science. 1940;23:399–404. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(40)95541

6. Polge C., Smith A., Parkes A. Revival of Spermatozoa after Vitrification and Dehydration at Low Temperatures. Nature. 1949;164:666. DOI: https://doi.org/10.1038/164666a0

7. Smith A. U., Polge C. Storage of bull spermatozoa at low temperatures. Veterinary Record. 1950;62:115–116.

8. Плешаков А. В. Оплодотворяющая способность спермиев, хранившихся длительное время в жидком азоте. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2004;(3):319–321. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=17993255 EDN: PDTKKR

Pleshakov A. V. Fertilizing ability of sperm stored for a long time in liquid nitrogen. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2004;(3):319–321. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17993255

9. Нарышкина Е. Н. Изменение показателей собственной продуктивности быков-производителей голштинской породы в зависимости от сезона года и возраста. Аграрный вестник Урала. 2020;(S14):40–48. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-14-40-48 EDN: WBYUXE

Naryshkina E. N. Changes in the indicators of own productivity of holstein bulls depending on the season and age. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(S14):40–48. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-14-40-48

10. Baust J. G., Gao D., Baust J. M. Cryopreservation: An emerging paradigm change. Organogenesis. 2009;5(3):90–96. DOI: https://doi.org/10.4161/org.5.3.10021

11. Hezavehei M., Sharafi M., Kouchesfahani H. M., Henkel R., Agarwal A., Esmaeili V., Shahverdi A. Sperm cryopreservation: A review on current molecular cryobiology and advanced approaches. Reproductive BioMedicine Online. 2018;37(3):327–339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2018.05.012

12. Ozimic S., Ban-Frangez H., Stimpfel M. Sperm Cryopreservation Today: Approaches, Efficiency, and Pitfalls. Current Issues *in* Molecular Biology. 2023;45(6):4716–4734. DOI: https://doi.org/10.3390/cimb45060300

13. Hu J. H., Li Q. W., Chen Y. L., Jiang Z. L., Jia Y. H., Wang L. Q., Ou B. B. Effects of addition of vitamin B12 to the extender on post-thaw motility, acrosome morphology, and plasma membrane integrity in bull semen. The Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2009;33(5):379–384. DOI: https://doi.org/10.3906/vet-0712-19

14. Moussa M., Martinet V., Trimeche A., Tainturier D., Anton M. Low density lipoproteins extracted from hen egg yolk by an easy method: cryoprotective effect on frozen–thawed bull semen. Theriogenology. 2002;57(6):1695–1706. DOI: https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00682-9

15. Arif A. A., Maulana T., Kaiin E. M., Purwantara B., Arifiantini R. I. The Quality of Frozen Semen of Limousin Bull in Various Semen Diluents. Tropical Animal Science Journal. 2022;45(3):284–290. DOI: https://doi.org/10.5398/tasj.2022.45.3.284

16. Mayer D. T., Lesley F. The factor in egg yolk affecting the resistance, storage potentialities and fertilization capacity of mammalian spermatozoa. The Journal of Animal Science. 1945;4(3):261–269. DOI: https://doi.org/10.2527/jas1945.43261x

17. Blackshaw A. W. The prevention of temperature shock of bull and ram spermatozoa. The Australian Journal of Biological Sciences. 1954;7(4):573–582. DOI: https://doi.org/10.1071/BI9540573

18. Martin I. C. A. Effects of lecithin, egg yolk, fructose and period of storage at 5 °C on bull spermatozoa frozen to -79 °C. Journals of Reproduction and Fertility. 1963;6(3):441–449. DOI: https://doi.org/10.1530/jrf.0.0060441

19. Lanz R. N., Pickett B. W., Komarek R. J. Effect of lipid additives on pre and post-freeze survival of bovine spermatozoa. Journal of Dairy Science. 1965;48(12):1692–1697. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88553-8

20. Gebauer M. R., Pickett B. W., Komarek R. J., Gaunya W. S. Motility of bovine spermatozoa extended in “defined” diluents. Journal of Dairy Science. 1970;53(6):817–823. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(70)86297-X

21. Bollwein H., Fuchs I., Koess C. Interrelationship between plasma membrane integrity, mitochondrial membranę potential and DNA fragmentation in cryopreserved bovine spermatozoa. Reproduction Domestic Animal. 2008;43(2):189–195. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00876.x

22. Amirat L., Tainturier D., Jeanneau L., Thorin C., Gérard O., Courtens J. L., Anton M. Bull semen *in vitro* fertility after cryopreservation using egg yolk LDL: a comparison with Optidyl®, a commercial egg yolk extender. Theriogenology. 2004;61(5):895–907. DOI: https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00259-0

23. Khan I. M., Cao Z., Liu H., Khan A., Rahman S. U., Khan M. Z., Sathanawongs A., Zhang Y. Impact of Cryopreservation on Spermatozoa Freeze-Thawed Traits and Relevance OMICS to Assess Sperm Cryo-Tolerance in Farm Animals. Frontiers In Veterinary Science. 2021;8:609180. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2021.609180

24. Behnam M., Asadpour R., Topraggaleh T. R., Hamali H. Improvement of post-thaw quality and fertilizing ability of bull spermatozoa using Rho kinase inhibitor in freezing extender. Frontiers in Veterinary Science. 2023;10:1155048. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1155048

25. Will M. A., Clark N. A., Swain J. E. Biological pH buffers in IVF: help or hindrance to success. The Journal of Assisted Reproduction and Genetics. 2011;28(8):711–724. DOI: https://doi.org/10.1007/s10815-011-9582-0

26. Crespilho A. M., Filho M. F., Dell'Aqua J. A., Nichi M., Monteiro G. A., Avanzi B. R., Martins A., Papa F. O. Comparison of in vitro and in vivo fertilizing potential of bovine semen frozen in egg yolk or new lecithin based extenders. Livestock Science. 2012;149(1-2):1–6. DOI: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.05.011

27. Benko F., Mohammadi-Sangcheshmeh A., Ďuračka M., Lukáč N., Tvrdá E. In vitro versus cryo-induced capacitation of bovine spermatozoa, part 1: Structural, functional, and oxidative similarities and differences. PLoS One. 2022;17(10):e0276683. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276683

28. Murphy E. M., O'Meara C., Eivers B., Lonergan P., Fair S. Comparison of plant- and egg yolk-based semen diluents on *in vitro* sperm kinematics and *in vivo* fertility of frozen-thawed bull semen. Animal Reproduction Science. 2018;191:70–75. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.02.010

29. Медведев Г. Ф., Аникевич Л. П. Свойства молочной среды различного состава для разбавления спермы быков. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2001;(2):65–69.

Medvedev G. F., Anikevich L. P. Properties of milk media of various compositions for diluting bull semen. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2001;(2):65–69. (In Belarus).

30. Graham E. F., Crabo B. G., Brown K. I. Effect of some zwitter ion buffers on the freezing and storage of spermatozoa. Journal *of* Dairy Science. 1972;55(3):372–378.
DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85499-7

31. Partyka A., Niaski W., Ochot M. Methods of assessment of cryopreserved semen. Current Frontiers in Cryobiology. Edited by Igor I. Katkov. 2012. pp. 547–574. DOI: https://doi.org/10.5772/33565

32. Bathgate R., Maxwell W. M. C., Evans G. Studies on the effect of supplementing boar semen cryopreservation media with different avian egg yolk types on *in vitro* post-thaw sperm quality. Reproduction Domestic Animals. 2006;41(1):68–73. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2006.00623.x

33. Aires V. A., Hinsch K.-D., Mueller-Schloesser F., Bogner K., Mueller-Schloesser S., Hinsch E. *In vitro* and *in vivo* comparison of egg yolk-based and soybean lecithin-based extenders for cryopreservation of bovine semen. Theriogenology. 2003;60(2):269–279. DOI: https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01369-9

34. Muiño R., Fernández M., Peña A. Post-thaw survival and longevity of bull spermatozoa frozen with an egg yolk-based or two egg yolk-free extenders after an equilibration period of 18°h. Reproduction Domestic Animals. 2007;42(3):305–311. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2006.00784.x

35. Bansal A. K., Bilaspuri G. Impacts of oxidative stress and antioxidants on semen functions. Veterinary Medicine International. 2010;23:21–28. DOI: https://doi.org/10.4061/2011/686137

36. Гамидов С. И., Шатылко Т. В., Попова А. Ю., Гасанов Н. Г., Гамидов Р. С. Оксидативный стресс сперматозоидов: клиническое значение и коррекция. Медицинский совет. 2021;(3):19–27.
DOI: https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-3-19-27 EDN: LTGSQU

Gamidov S. I., Shatylko T. V., Popova A. Y., Gasanov N. G., Gamidov R. S. Sperm oxidative stress: clinical significance and management. *Meditsinskiy sovet* = Medical Council. 2021;(3):19–27. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-3-19-27

37. Agnieszka M. M., Magdalena B. N., Mariola S., Andrzej C. PRDX5 and PRDX6 translocation and oligomerization in bull sperm: a response to cryopreservation-induced oxidative stress. Cell Commun Signal. 2025;23(1):15. DOI: https://doi.org/10.1186/s12964-024-02015-9

38. Pompella A., Visvikis A., Paolicchi A., Tata V. D., Casini A. F. The changing faces of glutathione, a cellular protagonist. Biochemical Pharmacology. 2003;66(8):1499–1503. DOI: https://doi.org/10.1016/s0006-2952(03)00504-5

39. Llavanera M., Delgado-Bermúdez A., Olives S., Mateo-Otero Y., Recuero S., Bonet S., Fernández-Fuertes B., Yeste M., Barranco I. Glutathione S-Transferases Play a Crucial Role in Mitochondrial Function, Plasma Membrane Stability and Oxidative Regulation of Mammalian Sperm. Antioxidants (Basel). 2020;9(2):100.
DOI: https://doi.org/10.3390/antiox9020100

40. Gangwar C., Saxena A., Patel A., Singh S. P., Yadav S., Kumar R., Singh V. Effect of reduced glutathione supplementation on cryopreservation induced sperm cryoinjuries in Murrah bull semen. Animal Reproduction Science. 2018;192:171–178. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.005

41. Yin J., Ren W., Yang G., Duan J., Huang X., Fang R., et al. Cysteine metabolism and its nutritional implications. Molecular Nutrition & Food Research. 2016;60(1):134–146. DOI: https://doi.org/10.1002/mnfr.201500031

42. Tuncer P. B., Bucak M. N., Büyükleblebici S., Sarıözkan S., Yeni D., Eken A., et al. The effect of cysteine and glutathione on sperm and oxidative stress parameters of post-thawed bull semen. Cryobiology. 2010;61(3):303–307. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2010.09.009

43. Bilodeau J. F., Chatterjee S., Sirard M. A., Gagnon C. Levels of antioxidant defenses are decreased in bovine spermatozoa after a cycle of freezing and thawing. Molecular Reproduction and Development. 2000;55(3):282–288. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2795(200003)55:3<282::AID-MRD6>3.0.CO;2-7

44. Hayanti S. Y., Sholikin M. M., Jayanegara A., Ulum M. F., da Costa M. A., Fitriawaty F., et al. Effect of supplementing L-cysteine and its group analogs on frozen semen quality of bulls: A meta-analysis. Veterinary World. 2022;15(11):2517–2524. DOI: https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.2517-2524

45. Gabr A. A., El Basuini M. F. Effect of tonophosphan, zinc oxide, and ascorbic acid on semen, sexual desire, and the fertility rate of Egyptian buffalo bulls. Annals of Agricultural Sciences. 2018;63(2):215–221.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.aoas.2018.12.001

46. Bustani G. S., Baiee F. H. Semen extenders: An evaluative overview of preservative mechanisms of semen and semen extenders. Veterinary World. 2021;14(5):1220–1233. DOI: https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1220-1233

47. Fariz H., Yon O., Daud S. Effect of vitamin E addition to frozen Simmental bull semen extender on post-thawing quality. E3S Web of Conferences. 2020;142:02002. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014202002

48. Hassani-Bafrani H., Tavalaee M., Arbabian M., Dattilo M., Nasr-Esfahani M. H. The Effect of Vitamin E & Vitamin B on Sperm Function in Rat Varicocele Model. Andrologia. 2019;51(11):e13429. DOI: https://doi.org/10.1111/and.13429

49. Suharyati S., Hartono M., Siswanto S., Wahid A. N., Saputra H. R., Sari F. N. The effectiveness of vitamin c and e addition in various diluents of Brahman cattle spermatozoa after freezing. Jurnal Kedokteran Hewan – Indonesian Journal of Veterinary Sciences. 2024;18(3):88–92. DOI: https://doi.org/10.21157/j.ked.hewan.v18i3.37128

50. Ahmed H., Jahan S., Riaz M., Ijaz M. U., Wahab A. Improving the quality and in vitro fertilization rate of frozen-thawed semen of buffalo (*Bubalus bubalis*) bulls with the inclusion of vitamin B_{12} in the cryopreservation medium. Animal Reproduction Science. 2021;229:106761. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106761

51. Pérez-Marín C. C., Quevedo L., Salas M., Arando A. Ultra-Rapid Freezing Using Droplets Immersed into Liquid Nitrogen in Bull Sperm: Evaluation of Two Cryoprotective Disaccharides and Two Warming Temperatures. Biopreservation and Biobanking. 2023;21(6):554–560. DOI: https://doi.org/10.1089/bio.2022.0075

52. Tuncer P. B., Sarıözkan S., Bucak M. N., Ulutaş P. A., Akalın P. P., Büyükleblebici S., Canturk F. Effect of glutamine and sugars after bull spermatozoa cryopreservation. Theriogenology. 2011;75(8):1459–1465. DOI: https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.12.006

53. Correia L. F. L., Alves B. R. C., Batista R. I. T. P., Mermillod P., Souza-Fabjan J. M. G. Antifreeze proteins for low-temperature preservation in reproductive medicine: A systematic review over the last three decades. Theriogenology. 2021;176:94–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.09.025

54. Jang H., Kwon H. J., Sun W. S., Hwang S., Hwang I. S., Kim S., et al. Effects of Leucosporidium-derived ice-binding protein (LeIBP) on bull semen cryopreservation. Veterinary Medicine and Science. 2020;6(3):447–453. DOI: https://doi.org/10.1002/vms3.269

55. Prathalingam N. S., Holt W. V., Revell S. G., Mirczuk S., Fleck R. A., Watson P. F. Impact of antifreeze proteins and antifreeze glycoproteins on bovine sperm during freeze-thaw. Theriogenology. 2006;66(8):1894–1900. DOI: https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.04.041

56. Karaşör Ö. F., Bucak M. N., Cenariu M., Bodu M., Taşpınar M., Taşpınar F. The effects of different doses of ROCK inhibitor, antifreeze protein III, and boron added to semen extender on semen Freezeability of Ankara bucks. Molecules. 2022;27(22):8070. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27228070

57. Prastiya R. A., Sardjito T., Saputro A. L., Budi D. S., Maxdhameta S. I., Sulistiyawati E., et al. Quality and kinematic characteristics of Bali bulls frozen semen with purified green tea extract epigallocatechin-3-gallate antioxidant addition in diluent. Open Veterinary Journal. 2024;14(8):2040–2048. DOI: https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i8.33

58. Ahmed H., Jahan S., Ullah H., Ullah F., Salman M. M. The addition of resveratrol in tris citric acid extender ameliorates post-thaw quality parameters, antioxidant enzymes levels, and fertilizing capability of buffalo (*Bubalus bubalis*) bull spermatozoa. Theriogenology. 2020;152:106–113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.04.034

59. Лебедев С. Г. Использование биологически активных веществ при заморозке спермы быков-производителей. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2005;41(1):88–91. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25054554 EDN: VCGZMX

Lebedev S. G. The use of biologically active substances in the freezing of sperm from breeding bulls. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny*. 2005;41(1):88–91. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25054554

60. Watson P. F. The preservation of semen in mammals. Oxford Reviews of Reproductive Biology. 1979;1:283–350.

61. Kolossa M., Seibert H. A chemically 'defined' diluent for cryopreservation of bovine spermatozoa. Andrologia. 1990;22(5):445–454. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.1990.tb02026.x

62. Gadea J. Semen extenders used in the artificial insemination of swine. Spanish Journal of Agricultural Research. 2003;1(2):17–27. DOI: https://doi.org/10.5424/sjar/2003012-17

63. Spinosa H. S., Górniak S. L., Bernardi M. M. Farmacologiaaplicada à medicinaveterinária. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2006. URL: https://repositorio.usp.br/item/001523488

64. Santos C. S., Silva A. R. Current and alternative trends in antibacterial agents used in mammalian semen technology. Animal Reproduction. 2020;17(1):e20190111. DOI: https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0111

65. Abd-Allah S. M. Effect of royal jelly on bovine sperm characteristics during post-thaw incubation in vitro. Revista Electronica de Veterinaria. 2010;21(2):81–85. DOI: https://doi.org/10.30972/vet.2121747

66. Cojkic A., Hansson I., Johannisson A., Morrell J. M. Effect of Some Plant-Based Substances on Microbial Content and Sperm Quality Parameters of Bull Semen. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(4):3435. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms24043435

Сведения об авторах

✉ **Старикова Дарья Андреевна**, кандидат биол. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5324-4090**, e-mail: live8avis@mail.ru

Баркова Ольга Юрьевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0963-905X**

Чистякова Ирэна Валерьевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7229-5766**

Плешанов Николай Вячеславович, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4634-7515

Габова Алина Валерьевна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0009-0007-6039-6958

Information about the authors

✉ **Daria A. Starikova**, PhD in Biological Science, researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5324-4090, e-mail: live8avis@mail.ru

Olga Yu. Barkova, PhD in Biological Science, senior researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0963-905X

Irena V. Chistyakova, PhD in Biological Science, researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7229-5766

Nikolay V. Pleshanov, researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moscow Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4634-7515**

Alina V. Gabova, junior researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moscow Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0009-0007-6039-6958**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.239–250
УДК 633.13:631.559:631.529

Кормовая продуктивность и адаптивные свойства плёнчатых и голозёрных генотипов овса в условиях Кировской области

© 2025. Е. Н. Вологжанина✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Работа проведена в 2022–2024 гг. с целью оценки 18 перспективных плёнчатых и голозёрных генотипов овса по урожайности зерна и зелёной массы, выделения генотипов укосного и универсального назначения с высокими показателями пластичности и стабильности в условиях Кировской области. В качестве стандарта для плёнчатых генотипов использовали сорт Архан, для голозерных – Азиль. Периоды «всходы – созревание» овса в годы исследований характеризовались различным гидротермическим режимом: ГТК – 2,11; 1,64; 0,76. Генотипы оценивали по урожайности зерна, зелёной массы и сбору сухого вещества с последующей оценкой их адаптивного потенциала по признакам «урожайность зерна» и «сбор сухого вещества зеленой массы». Определяли коэффициент линейной регрессии (b_i), индекс стабильности (S_i^2), параметр гомеостатичности (Hom), селекционную ценность (Sc), фактор стабильности (SF), коэффициенты адаптивности (КА) и мультипликативности (КМ). Плёнчатые формы овса формировали более высокую урожайность как зерна, так и зелёной массы. Выделены плёнчатые линии для универсального использования с высокой урожайностью зерна (5,5…5,8 т/га) и зелёной массы (33,9…40,2 т/га) – 91h18, 41h18, 23h20, голозёрные – 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 (3,1…3,4 и 26,5…28,8 т/га соответственно). Плёнчатая линия 40h20 с высокой урожайностью зелёной массы (35,6 т/га) – укосного назначения. По пленчатым формам отмечена высокая достоверная прямая зависимость урожайности зерна (r = 0,68) и зелёной массы (r = 0,81) от высоты растения, урожайность зелёной массы находилась в средней степени положительной связи с облиственностью (r = 0,42). Урожайность зерна голозёрных форм зависела от урожайности зелёной массы (r = 0,83), высоты растения (r = 0,73) и облиственности (r = 0,45), урожайность зелёной массы – от высоты растения (r = 0,84). В результате анализа некоторых параметров пластичности и стабильности по сумме рангов выделены линии, имеющие высокую хозяйственную ценность по признакам «урожайность зерна» и «сбор сухого вещества зеленой массы»: среди плёнчатых генотипов – 50h18, 23h20, голозёрных – 5h18, 1h18.

Ключевые слова. *Avéna sativa* L., *урожайность, зелёная масса, сухое вещество, гомеостатичность, селекционная ценность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2024-0002).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вологжанина Е. Н. Кормовая продуктивность и адаптивные свойства плёнчатых и голозёрных генотипов овса в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):239–250. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.239-250

Поступила: 03.02.2025 Принята к публикации: 31.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Fodder productivity and adaptive properties of covered and naked oat genotypes in the conditions of the Kirov region

© 2025. Elena N. Vologzhanina✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The research was carried out in 2022-2024 in order to evaluate 18 promising hulled and naked oat genotypes according to grain yield and grain mass and to identify the mowing and universal genotypes with high plasticity and stability in the conditions of the Kirov region. Cultivar 'Arkhan' was used as a standard for hulled genotypes, and cv. 'Azil' – for naked ones. The periods of "seedlings – ripening" of oats in the years of the research were characterized by different hydrothermal regimes: HTC – 2.11; 1.64; 0.76. The genotypes were evaluated by grain yield, green mass yield and dry matter yield, followed by an assessment of their adaptive potential on the basis of "grain yield" and "dry matter of the green mass yield" traits. The linear regression coefficient (bi), stability index (S_i^2), homeostatic parameter (Hom), breeding value (Sc), stability factor (SF), coefficients of adaptivity (KA) and multiplicativity (KM) were determined. Covered forms of oats formed a higher yield of both grain and green mass. Covered lines having high grain yield (5.5...5.8 t/ha) and green mass yield (33.9...40.2 t/ha)

were selected for universal use – 91h18, 41h18, 23h20, naked lines – 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 (grain yield 3.1...3.4 t/ha and 26.5...28.8 t/ha, respectively). A covered oats line 40h20 having a high yield of green mass (35.6 t/ha) is for a mowing purpose. The covered forms showed a high significant direct dependence of both grain yield (r = 0.68) and green mass yield (r = 0.81) on plant height, the green mass yield was in positive relationship of middle degree with leafiness (r = 0.42) in covered oats. The grain yield of naked oats depended on green mass yield (r = 0.83), plant height (r = 0.73), leafiness (r = 0.45), green mass yield depended on the plant height (r = 0.84). As a result of the analysis of some parameters of plasticity and stability by the sum of ranks, there have been identified lines that have high economic value on the basis of "grain yield" and "dry matter of the green mass yield" traits: covered genotypes 50h18, 23h20, and naked genotypes 5h18, 1h18.

Keywords: *Avéna sativa* L., *yield, green mass, dry matter, homeostasis, breeding value*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2024-0002).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated no conflict of interest.

For citation: Vologzhanina E. N. Fodder productivity and adaptive properties of covered and naked oat genotypes in the conditions of the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):239–250. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.239-250

Received: 03.02.2025 Accepted for publication: 31.03.2025 Published online: 29.04.2025

Кировская область – зона рискованного земледелия. Стрессовыми факторами для растениеводства в первую очередь являются нестабильные погодные условия (засушливые и жаркие периоды вегетации чередуются с холодными и переувлажненными) [1]. Овёс формирует высокие урожаи зерна в различных почвенно-климатических условиях, широко распространен на территории России, в том числе и Кировской области [2]. Особый интерес для сельхозпроизводителя представляет голозёрный овёс, благодаря отсутствию плёнки и высоким показателям качества зерна [3]. Однако отсутствие плёнчатой оболочки на зёрнах приводит к большей чувствительности голозёрного овса к условиям возделывания, что связано с травмируемостью зародыша, поражением болезнями и, как следствие, более низкой всхожестью по сравнению с плёнчатыми формами овса [4].

Овёс – универсальная культура. Во многих регионах страны на корм используется не только зерно, но и зелёная масса [5, 6]. После скашивания овёс быстро отрастает, что способствует более длительному использованию зеленых кормов в летний период [7, 8]. Однако сухая, жаркая погода во время формирования вегетативных и закладки генеративных органов приводит к снижению урожайности зерна и зелёной массы сельскохозяйственных культур более чем на 60 % [9, 10].

Для более эффективного использования овса на зерно и зелёный корм необходимо внедрять пластичные сорта, обладающие потенциальной способностью формировать высокую стабильную урожайность, даже в стрессовых природно-климатических условиях возделывания [11, 12], наиболее полно используя имеющиеся ресурсы [13, 14, 15].

Цель исследований – оценить перспективные плёнчатые и голозёрные формы овса по урожайности зерна и зелёной массы, выделить генотипы укосного и универсального назначения с высокими показателями пластичности и стабильности в условиях Кировской области.

Научная новизна – выделены новые перспективные линии плёнчатого и голозёрного овса укосного и универсального назначения с высокой адаптивной способностью к условиям Кировской области.

Материал и методы. Работу проводили в 2022–2024 гг. на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область). Изучено 18 перспективных и включенных в Госреестр РФ сортов и линий плёнчатого и голозёрного овса питомника конкурсного испытания. В качестве стандарта использовали сорта Архан (для плёнчатых генотипов) и Азиль (для голозёрных генотипов).

Скашивание зеленой массы проводили вручную в фазу «начало выметывания»[1]. Анализ метеорологических условий в период исследований выполнен по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

[1]Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов имени В. Р. Вильямса. М., 1987. 198 с.

Рассчитаны следующие параметры адаптивности: индекс условий среды (I_j); коэффициент регрессии (b_i); индекс стабильности (S_i^2) по методике S. A. Eberhart, W. A. Rassel (1966) в изложении В. А. Пакудина и Л. М. Лопатиной[2]; гомеостатичность (Hom) и селекционная ценность (Sc) по В. В. Хангильдину (1986)[3] и Б. А. Доспехову (1985)[4]; фактор стабильности (SF) по Д. Левис (D. Lewis, 1954)[5]; коэффициент адаптивности (КА) по Л. А. Животкову с соавт. (1994)[6]; коэффициент мультипликативности (КМ) по В. А. Драгавцеву (1984)[7]; гидротермический коэффициент (ГТК) по А. И. Селянинову[8].

В работе применяли метод ранжирования сортов и линий овса по уровню их адаптивности с последующим вычислением суммы рангов. Высший ранг присваивали сортам и линиям с минимальными значениями показателей S_i^2, SF, КА и наибольшими значениями b_i, ИС, Hom, Sc, КМ, что свидетельствует о наименьшей изменчивости изучаемых признаков.

Для обработки экспериментальных данных методами дисперсионного и корреляционного анализов использовали пакет селекционно-ориентированных программ AGROS, версия 2.07, пакет прикладных программ Microsoft Excel 2007.

Периоды вегетации в годы исследований значительно различались по погодно-климатическим условиям. В мае 2022 г. наблюдали понижение температуры относительно средних многолетних на 1 °С, осадки были незначительными, что близко к значениям, характерным для региона в этом месяце (табл. 1).

Таблица 1 – **Характеристика метеорологических условий периодов вегетации овса 2022–2024 гг. (метеостанция г. Киров) /**
Table 1 – **Characteristics of meteorological conditions of oat vegetation periods in 2022–2024 (meteorological station, Kirov)**

Месяц / Month	*Осадки, мм / Precipitation, mm*				*Средняя температура воздуха, °С / Average air temperature, °С*			
	2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*	*среднее многолетнее / long-term average annual*	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*	*среднее многолетнее / long-term average annual*
Май / May	53	45	65	54	8,2	13,8	7,5	11,2
Июнь / June	117	30	31	79	16,0	14,1	18,8	16,5
Июль / July	54	177	40	76	19,9	18,6	19,8	18,6
Август / August	18	15	30	77	20,0	17,4	16,2	15,2

Июнь характеризовался тёплой погодой, количество выпавших осадков составило 148 % от нормы. В первой и третьей декадах июля преобладала тёплая сухая погода, обильные осадки наблюдали во второй декаде месяца. Средняя температура воздуха в июле составила 19,9 °С, что на 1,3 °С выше климатической нормы. Август характеризовался аномально жаркой погодой и засухой. Количество выпавших осадков составило 18 мм, или 23 % от нормы. В целом погодные условия 2022 г. по температурному режиму и увлажнению (ГТК = 2,11) были достаточно благоприятны для роста и развития овса (табл. 2).

[2]Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;19(4):109–113.
[3]Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытании колосовых культур. Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1986;2(60):36–41.
[4]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
[5]Lewis D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. Heredity. 1954;8:333–356.
[6]Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3–6.
[7]Драгавцев В. А., Цильке В. А., Рейтер Б. Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 229 с.
[8]Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

Таблица 2 – **Значения гидротермического коэффициента по периодам вегетации овса /**
Table 2 – **Hydrothermal coefficient values for oat vegetation periods**

Период вегетации / The growing season	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*
Всходы – вымётывание / Seedlings – heading	2,76	0,84	0,81
Вымётывание – созревание / Heading – maturation	1,44	1,80	0,71
Всходы – созревание / Seedlings – maturation	2,11	1,64	0,76

В мае 2023 г. отмечена тёплая, с засухой во второй и третьей декадах месяца погода. Июнь характеризовался засухой и температурой ниже климатической нормы на 2,4 °С. В июле высокую температуру воздуха компенсировали частые дожди. Погода в период созревания и уборки овса была сухой и жаркой. Среднесуточная температура воздуха в августе превышала климатическую норму на 2,2 °С. В целом погодные условия 2023 г. по температурному режиму и увлажнению были благоприятны для роста и развития овса (ГТК = 1,64).

В первой половине мая 2024 года наблюдали аномально холодную с заморозками погоду. При этом среднесуточная температура воздуха удерживалась в пределах от -2 до +5 °С, что на 5–13 °С ниже нормы. В последней декаде мая среднесуточная температура воздуха превышала норму на 1–6 °С. В результате средняя за месяц температура воздуха составила 7,5 °С, что на 3,7 °С ниже климатической нормы. Июнь характеризовался нестабильной погодой, от очень теплой до холодной, в основном сухой или с небольшими дождями (ГТК = 0,81). Средняя за месяц температура воздуха была на 2,3 °С выше климатической нормы. В июле наблюдали неустойчивую, от жаркой до теплой, с недостаточным количеством осадков погоду. В итоге за месяц осадков выпало 53 % нормы. В августе преобладала умеренно тёплая, преимущественно с небольшими осадками погода (за месяц выпало 30 мм, или 39 % от нормы). Средняя за месяц температура воздуха была близка к климатической норме.

Результаты и их обсуждение. Составляющими кормовой продуктивности овса являются урожайность зеленой массы и сбор сухого вещества в совокупности с зерновой продуктивностью.

Максимальную урожайность зерна среди плёнчатых генотипов овса сформировали линии 42h20, 23h20, 50h18, 41h18, 91h18 (5,3…5,8 т/га) (табл. 3).

Линии 41h18, 91h18, 23h20 отличались высокой относительно стандарта Архан урожайностью зелёной массы (33,9…40,2 т/га) и сбором сухого вещества (9,3…10,9 т/га), их можно отнести к линиям универсального назначения. Урожай зелёной массы складывается из облиственности и высоты растения. Наибольшим количеством листьев отличились линии 39h20, 42h20, сорт Архан (68,0…68,6 %). Исходя из результатов корреляционного анализа, отмечена высокая достоверная ($p \leq 0,05$) положительная зависимость как урожайности зерна ($r = 0,68$), так и зелёной массы ($r = 0,81$) от высоты растения. Самые высокорослые растения сформировались у линий 41h18 (91,0 см), 23h20 (90,7 см), 40h20 (100,8 см), 41h20 (99,8 см). Выявлены корреляционные зависимости урожайности зерна от урожайности зелёной массы ($r = 0,73$) и облиственности растений ($r = 0,42$). Урожайность зелёной массы находилась в тесной положительной связи со сбором сухого вещества ($r = 0,94$).

Голозёрные формы овса были менее урожайны в сравнении с плёнчатыми как по зерну, так и по зелёной массе. Высокую зерновую продуктивность сформировали линии 5h18, 161h14, 1h18, 63h11, 4h18 (3,1…3,5 т/га). У линий 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 также отмечена высокая урожайность зелёной массы (26,5…28,8 т/га) и сбор сухого вещества (7,5…8,8 т/га), что свидетельствует об их универсальности. Наиболее облиственными были линии 1h18 (67,0 %), 63h11 (65,6 %), 161h14 (65,0 %), 3h18 (66,1 %).

В результате корреляционного анализа выявлена высокой степени статистически значимая ($p \leq 0,05$) положительная связь урожайности зерна голозерных форм овса с урожайностью зелёной массы ($r = 0,83$), высотой растения ($r = 0,73$), средней степени – с облиственностью ($r = 0,45$). Отмечена высокая прямая зависимость урожайности зелёной массы от высоты растения ($r = 0,84$).

Таблица 3 – **Оценка перспективных генотипов овса по кормовой продуктивности (2019–2021 гг.) /**
Table 3 – **Evaluation of promising genotypes of oats by feed productivity (2019–2021)**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Урожайность зерна, т/га / Grain yield t/ha*	*Урожайность зелёной массы, т/га / Yield of green mass, t/ha*	*Сбор сухого вещества, т/га / Yield of dry matter, t/ha*	*Облиственность, % / Leafiness, %*	*Высота растения, см / Height of the plant, cm*
Плёнчатые / Covered					
91h18	5,8	34,4	9,3	66,2	82,5
41h18	5,5	33,9	9,4	64,3	91,0
50h18	5,4	27,6	8,1	63,3	89,4
23h20	5,5	40,2	10,9	59,9	90,7
39h20	5,2	30,2	8,5	68,6	81,2
40h20	5,1	35,6	9,4	65,3	100,8
41h20	5,2	30,4	8,2	65,3	99,8
42h20	5,3	28,6	8,3	68,0	89,6
Архан, ст. / ‘Arhan’, st.	5,1	26,3	7,0	68,6	88,6
Среднее / Average	5,4	30,4	8,4	65,4	90,4
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,2	2,7	1,8	4,7	8,2
Голозёрные / Naked					
5h18	3,1	28,8	8,8	63,4	86,9
2h18	2,7	24,6	7,3	61,9	96,8
6h18	3,0	25,1	6,9	64,8	93,2
161h14	3,1	24,3	7,0	65,0	92,0
1h18	3,1	26,5	8,3	67,0	97,3
63h11	3,5	28,6	8,3	65,6	89,0
3h18	2,8	24,9	6,8	66,1	90,8
4h18	3,4	27,2	7,5	60,9	93,1
Азиль, ст. / ‘Azil’, st.	2,5	22,9	6,4	62,2	91,3
Среднее / Average	3,0	25,9	7,5	64,1	92,4
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,3	3,0	1,1	5,0	8,5

В среднем по сортам голозёрные формы овса отличались большей высокорослостью (92,4 см) по сравнению с плёнчатыми (90,4 см). Наиболее высокие растения отмечены у линий 2h18 (96,8 см) и 1h18 (97,3 см). Различия между плёнчатыми и голозёрными формами по сбору сухого вещества и облиственности незначительны. Сбор сухого вещества у плёнчатых генотипов составил 8,4 т/га, голозёрных – 7,5 т/га, облиственность – 65,4 и 64,1 % соответственно.

Важной характеристикой сорта в нестабильных природно-климатических условиях является его способность адаптироваться к стрессовым условиям среды.

Перед началом оценки генотипа на адаптивность проведён дисперсионный анализ с целью установления значимости влияния факторов «год» и «генотип» на урожайность зерна и сбор сухого вещества зелёной массы овса. Выявлена высокая зависимость урожайности и сбора сухого вещества от фактора «год» ($F_{факт} > F_{0,5}$) (табл. 4). Статистически значимого влияния генотипа на исследуемые признаки не выявлено ($F_{факт} < F_{0,5}$).

Наиболее благоприятные условия для формирования высокой урожайности как плёнчатого, так и голозёрного овса при достаточном увлажнении на протяжении всего периода развития сложились в 2022 году, о чём свидетельствует индекс условий среды (I_j = 1,7 и 1,0 соответственно) (табл. 5).

В 2022 году средняя по сортам урожайность составила у плёнчатых генотипов 7,1 т/га, голозёрных – 4,1 т/га. Максимальную урожайность сформировали плёнчатые линии 23h20, 39h20, 40h20 (7,4…7,6 т/га), среди голозёрных – линии 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 (4,3…5,1 т/га).

Таблица 4 – **Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по влиянию факторов «год» и «генотип» на урожайность зерна и сбор сухого вещества зелёной массы овса /**
Table 4 – **Results of a two-factor analysis of variance according to the influence of the factors "year" and "genotype" on grain yield and yield of dry matter of the green mass of oats**

Показатель / Parameter	*Источник варьирования / Source of variation*	*Сумма квадратов / Sum of squares*	*Степень свободы / Degrees of freedom*	*Средний квадрат / Mean square*	*Вклад факторов, % / Contribution of factors, %*	$F_{факт}$	$F_{0,5}$
Плёнчатые / Covered							
Урожайность / Yield	Год / Year	79,43	2	39,72	92,2	129,94	3,55
	Генотип / Genotypes	1,23	9	0,14	1,4	0,45	2,46
Сбор сухого вещества / Dry matter yield	Год / Year	304,70	2	152,35	80,6	62,92	3,55
	Генотип / Genotypes	29,73	9	3,30	7,9	1,36	2,46
Голозёрные / Naked							
Урожайность / Yield	Год / Year	39,96	2	39,96	86,8	100,23	3,55
	Генотип / Genotypes	2,47	9	0,27	5,4	1,38	2,46
Сбор сухого вещества / Dry matter yield	Год / Year	200,94	2	100,47	82,5	67,98	3,55
	Генотип / Genotypes	15,95	9	1,77	6,6	1,20	2,46

В связи с аномально холодной погодой в период от посева до всходов и сухой в фазу «всходы – созревание» (ГТК = 0,76) в 2024 году наблюдали наиболее низкую за годы исследований урожайность овса (I_j = -2,2 у плёнчатых форм, I_j = -1,6 у голозёрных). Средняя урожайность овса была ниже относительно 2022 года на 4 т/га у плёнчатого, на 2,7 т/га у голозёрного. Урожайность изучаемых плёнчатых генотипов овса получена на уровне или ниже на 21,4…41,7 % стандарта Архан, у голозёрных генотипов – на 13,3…70,0 % относительно стандарта Азиль. Наблюдали высокой степени положительную зависимость урожайности от ГТК в период «всходы – созревание»: r = 0,96 для плёнчатых, r = 0,91 – для голозёрных.

Наибольшую пластичность, то есть способность максимально адаптироваться в меняющихся условиях среды, среди плёнчатых генотипов проявили линии 91h18, 39h20, 40h20, 41h20 (b_i = 1,08…1,25), голозёрных – 1h18, 63h11, 4h18 (b_i = 1,04…1,47). Уровень пластичности генотипа можно оценить и по коэффициенту мультипликативности (КМ). В разрезе плёнчатых линий, согласно коэффициенту мультипликативности, максимальный показатель пластичности отмечен у линий 91h18, 39h20, 40h20, 41h20 (КМ = 2,01…2,32), что согласуется с данными коэффициента регрессии (b_i). Среди голозёрных форм в качестве наиболее пластичных отмечены линии 2h18, 6h18, 63h11, 3h18, 4h18 (КМ = 2,00…2,30). Высоким уровнем стабильности, наряду с высокой пластичностью, обладали плёнчатые линии 40h20 (S_i^2 = 0,05) и 41h20 (S_i^2 = 0,00), а также голозёрные 1h18 (S_i^2 = 0,07) и 4h18 (S_i^2 = 0,06), что позволяет отнести их к генотипам интенсивного типа, для которых характерна высокая отзывчивость на изменение условий среды при стабильном урожае. Высокая стабильность признака при среднем уровне пластичности отмечена также у плёнчатых линий 41h18 (S_i^2 = 0,01) и 42h20 (S_i^2 = 0,00), голозёрных – 2h18 и 6h18 (S_i^2 = 0,02), 161h14 (S_i^2 = 0,09), 3h18 (S_i^2 = 0,08).

Высокими адаптивными способностями по признаку «урожайность зерна» характеризовались плёнчатые линии 91h18, 41h18, 50h18, 23h20 (КА = 99,1…107,4 %), у этих линий также отмечена высокая селекционная ценность (Sc = 2,48…2,90). У голозёрных форм высокий коэффициент адаптивности наблюдали у линий 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 (КА = 103,4…116,6 %), наибольшей селекционной ценностью обладали линии 5h18 (Sc = 1,24), 161h14 (Sc = 1,39) и сорт Азиль (Sc = 1,31).

Высокой стабильной реакцией на условия среды по признаку «урожайность зерна» отличились плёнчатые линии 50h18 (ИС = 17,82;

SF = 1,84), 23h20 (ИС = 15,00; SF = 2,16), 42h20 (ИС = 14,96; SF = 2,14), сорт-стандарт Архан (ИС = 17,75; SF = 1,77), голозёрные линии – 5h18 (ИС = 7,44; SF = 2,53), 161h14 (ИС = 7,93; SF = 2,24), сорт-стандарт Азиль (ИС = 8,00; SF = 1,94). Высоким уровнем гомеостатичности и селекционной ценности характеризовались плёнчатая линия 42h20 (Hom = 4,10; Sc = 2,49), сорт Архан (Hom = 6,75; Sc = 2,90), высоким гомеостазом обладали линии 91h18, 50h18, 23h20 (Hom = 3,68…6,02), среди голозёрных генотипов – 5h18 (Hom = 2,86; Sc = 1,24), 161h14 (Hom = 3,77; Sc = 1,39), стандарт Азиль (Hom = 5,00; Sc = 1,31).

Таблица 5 – **Некоторые параметры пластичности и стабильности голозёрных и плёнчатых генотипов овса по признаку «урожайность зерна» /**
Table 5 – **Some parameters of plasticity and stability of naked and covered genotypes of oats on the basis of «grain yield» trait**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Урожайность, т/га / Yield, t/ha*			b_i	S_i^2	*ИС*	*Hom*	*Sc*	*SF*	*КА, %*	*КМ*
	2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*								
Плёнчатые / Covered											
91h18	7,1	7,1	3,2	1,08	0,86	14,66	3,68	2,56	2,26	107,4	2,01
41h18	7,3	6,0	3,3	1,00	0,01	14,88	3,72	2,48	2,22	102,0	1,98
50h18	6,5	6,1	3,5	0,78	0,14	17,82	6,02	2,90	1,84	99,1	1,79
23h20	7,6	5,5	3,5	0,97	0,58	15,00	3,68	2,57	2,16	102,5	1,94
39h20	7,7	5,3	2,7	1,20	0,50	10,93	2,19	1,83	2,86	96,7	2,24
40h20	7,4	5,6	2,4	1,25	0,05	10,27	2,18	1,63	3,14	94,8	2,32
41h20	7,1	5,7	2,8	1,08	0,00	12,20	2,84	2,03	2,55	95,9	2,13
42h20	6,9	5,9	3,2	0,93	0,00	14,96	4,10	2,49	2,14	98,5	1,94
Архан, ст. / ‘Arhan’, st.	6,1	5,9	3,4	0,71	0,26	17,75	6,75	2,90	1,77	95,0	1,74
Среднее / Average	7,1	5,9	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,7	0,7	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
I_j	1,7	0,5	-2,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Голозёрные / Naked											
5h18	4,3	3,4	1,7	0,92	0,10	7,44	2,86	1,24	2,53	103,4	1,88
2h18	3,7	3,4	1,1	1,00	0,02	5,25	2,02	0,81	3,36	90,2	2,10
6h18	4,1	3,4	1,4	0,99	0,02	6,28	2,33	1,01	2,93	97,9	2,00
161h14	3,8	3,8	1,7	0,84	0,09	7,93	3,77	1,39	2,24	102,3	1,81
1h18	4,4	3,5	1,5	1,04	0,07	6,61	2,28	1,07	2,93	103,4	1,99
63h11	5,1	4,0	1,5	1,29	0,11	6,77	1,88	1,04	3,40	116,6	2,10
3h18	4,0	3,1	1,2	1,00	0,08	5,35	1,91	0,83	3,33	91,3	2,08
4h18	4,8	4,4	1,0	1,47	0,06	5,54	1,46	0,71	4,80	112,2	2,30
Азиль, ст. / ‘Azil’, st.	2,6	3,3	1,7	0,46	0,45	8,00	5,00	1,31	1,94	83,6	1,54
Среднее / Average	4,1	3,6	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,0	0,9	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
I_j	1,0	0,6	-1,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: здесь и далее b_i – коэффициент линейной регрессии; S_i^2 – показатель стабильности; КМ – коэффициент мультипликативности; Sc – селекционная ценность; Hom – гомеостатичность; КА – коэффициент адаптивности; SF – фактор стабильности; ИС – индекс стабильности; I_j – индекс условий среды /

Notes: hereafter, bi is the linear regression coefficient; S_i^2 is the stability indicator; KM is the multiplicative coefficient; Sc is the breeding value; Hom is homeostasis; KA is the coefficient of adaptivity; SF is the stability factor; IS is the stability index; Ij is the index of environmental conditions

Полную характеристику генотипов по адаптивной способности даёт ранжирование. Наибольшей хозяйственной ценностью по результатам ранжирования обладали плёнчатые линии с наименьшей суммой рангов 91h18 (35), 50h18 (28), 42h20 (32), 23h20 (33) сорт Архан (34), голозёрные линии 5h18 (33), 161h14 (30), 1h18 (32) (табл. 6).

Таблица 6 – **Результаты ранжирования генотипов овса по показателям адаптивности по признаку «урожайность зерна» /**
Table 6 – **Results of the ranking of oat genotypes by indicators of adaptability on the basis of «grain yield» trait**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Значения рангов / Rank values*								*Сумма рангов / Sum of ranks*
	b_i	S_i^2	*ИС*	*Hom*	*Sc*	*SF*	*КА, %*	КМ	
Плёнчатые / Covered									
91h18	3	8	6	4	3	6	1	4	35
41h18	4	3	5	5	5	5	3	5	34
50h18	7	4	1	2	1	2	4	7	27
23h20	5	7	3	4	2	4	2	6	33
39h20	2	6	8	7	7	8	6	2	46
40h20	1	4	9	8	8	9	9	1	48
41h20	3	1	7	6	6	7	7	3	40
42h20	6	1	4	3	4	3	5	6	32
Архан, ст. / ‘Arhan’, st.	8	5	2	1	1	1	8	8	34
Голозёрные / Naked									
5h18	6	6	3	3	3	3	3	6	33
2h18	4	1	9	6	8	6	7	2	43
6h18	5	1	6	4	6	4	5	4	35
161h14	7	5	2	2	1	2	4	7	30
1h18	3	3	5	5	4	4	3	5	32
63h11	2	7	4	8	5	7	1	2	36
3h18	4	4	8	7	7	5	6	3	44
4h18	1	2	7	9	9	8	2	1	39
Азиль, ст. / ‘Azil’, st.	8	8	1	1	2	1	8	8	37

Анализ значений индекса условий среды показал, что лучшие условия для сбора сухого вещества зелёной массы плёнчатого овса сложились в 2023 г. (I_j = 2,6) (табл. 7).

Для формирования сухого вещества зеленой массы голозёрного овса условия 2022 и 2023 гг. были благоприятны и почти равноценны (I_j – 1,9 и 1,8 соответственно). Неблагоприятные условия сложились в 2024 г. (I_j = -4,5 для плёнчатых; I_j = -3,7 для голозёрных). Аномально низкая температура и высокая влажность в мае 2024 г. привели к неравномерности и задержке появления всходов. Негативное влияние на урожайность зелёной массы и сбор сухого вещества оказало недостаточное увлажнение в межфазный период «всходы – вымётывание» (ГТК = 0,81). Сбор сухого вещества был ниже относительно 2022 и 2023 гг. на 6,3 и 7,1 т/га для плёнчатых, 5,7 и 5,6 т/га для голозёрных форм.

При оценке параметров адаптивности овса по признаку «сбор сухого вещества зелёной массы» выделены пластичные плёнчатые линии, наиболее отзывчивые на улучшение условий выращивания – 91h18 (b_i = 1,30; КМ = 2,23), 39h20 (b_i = 1,25; КМ = 2,29), 40h20 (b_i = 1,08; КМ = 2,02), среди голозёрных 5h18 (b_i = 1,36; КМ = 2,16), 2h18 (b_i = 1,13; КМ = 2,16), 6h18 (b_i = 1,14; КМ = 2,23), 1h18 (b_i = 1,17; КМ = 2,06). Имея высокую пластичность, высокой стабильностью признака характеризовались плёнчатые 91h18, 39h20 (S_i^2 – 0,09 и 0,04) и голозёрные линии 5h18, 1h18 (S_i^2 – 0,07 и 0,11). Высокую стабильность по сбору сухого вещества зеленой массы, как и по урожайности зерна, при среднем уровне пластичности, имели плёнчатые линии 41h18 (S_i^2 = 0,07), 50h18 (S_i^2 = 0,00) и голозёрные линии 63h11 (S_i^2 = 0,02), 3h18 (S_i^2 = 0,05). Плёнчатые линии с повышенным содержанием сухого вещества 41h18, 23h20, 40h20 характеризовались высоким индексом стабиль-

ности (ИС = 20,55…29,14), гомеостатичностью (Hom = 2,48…3,55) и селекционной ценностью (Sc = 3,35…5,00). У линий 41h18 и 23h20 наблюдали высокие показатели фактора стабильности (SF = 2,19…2,41) и коэффициента адаптивности (КА = 106,7…124,5 %). Среди голозёрных генотипов высокой адаптивностью, согласно показателям индекса стабильности (ИС = 21,29…24,88), гомеостатичности (Hom = 4,26…5,83), селекционной ценности (Sc = 3,57…4,22) и фактора стабильности (SF = 1,86…2,11) обладали линии 63h11, 3h18, 4h18. При этом следует отметить, что линии 63h11 и 4h18 характеризовались повышенной урожайностью и сбором сухого вещества. Высокий коэффициент адаптивности отмечен у линий 5h18, 1h18, 63h11, 4h18 (КА = 101,5…118,1 %).

Таблица 7 – **Некоторые параметры пластичности и стабильности голозёрных и плёнчатых генотипов овса по признаку «сбор сухого вещества зеленой массы» /**
Table 7 - **Some parameters of plasticity and stability of naked and covered oat genotypes on the basis of «dry matter of the green mass yield» trait**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Сбор сухого вещества, т/га / Yield of dry matter, t/ha*			b_i	S_i^2	*ИС*	*Hom*	*Sc*	*SF*	*КА, %*	*КМ*
	2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*								
Плёнчатые / Covered											
91h18	11,9	12,5	3,4	1,30	0,09	16,87	1,85	2,52	3,68	105,5	2,23
41h18	11,4	11,8	4,9	0,99	0,07	22,65	3,28	3,89	2,41	106,7	1,93
50h18	9,9	10,6	3,7	0,97	0,00	17,13	2,48	2,82	2,86	91,9	2,06
23h20	10,8	15,1	6,9	0,94	6,42	29,14	3,55	5,00	2,19	124,5	1,76
39h20	11,0	11,7	2,9	1,25	0,04	14,89	1,69	2,12	4,03	97,2	2,29
40h20	10,7	12,9	4,6	1,08	0,93	20,55	2,48	3,35	2,80	107,1	2,02
41h20	11,7	8,9	4,1	0,87	6,12	17,64	2,32	2,89	2,85	93,8	1,93
42h20	12,3	8,6	3,9	0,91	9,83	16,23	1,93	2,62	3,15	94,2	1,97
Архан, ст. / ‘Arhan’, st.	6,1	10,7	4,2	0,67	8,39	14,66	2,26	2,75	2,55	79,7	1,85
Среднее / Average	10,6	11,4	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,9	1,5	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
I_j	1,9	2,6	-4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Голозёрные / Naked											
5h18	11,2	11,4	3,7	1,36	0,07	17,51	2,27	2,85	3,08	118,1	2,16
2h18	10,5	8,3	3,1	1,13	2,10	14,02	1,90	2,16	3,39	98,4	2,16
6h18	10,3	7,8	2,7	1,14	2,76	12,41	1,63	1,82	3,81	93,4	2,23
161h14	9,7	8,0	3,3	1,00	1,23	14,78	2,31	2,38	2,94	94,3	2,07
1h18	10,2	10,7	3,9	1,17	0,11	18,03	2,65	3,01	2,74	111,4	2,06
63h11	10,0	9,7	5,1	0,85	0,02	24,88	5,08	4,22	1,96	111,4	1,77
3h18	8,2	7,8	4,4	0,64	0,05	22,14	5,83	3,65	1,86	91,6	1,71
4h18	8,6	9,5	4,5	0,81	0,51	21,29	4,26	3,57	2,11	101,5	1,81
Азиль, ст. / ‘Azil’, st.	6,0	10,3	3,0	0,91	9,78	11,28	1,55	1,87	3,43	86,7	2,06
Среднее / Average	9,4	9,3	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,8	3,0	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
I_j	1,9	1,8	-3,7	-	-	-	-	-	-	-	-

Ранжирование изученных параметров адаптивности по признаку «сбор сухого вещества зеленой массы» позволило выделить по сумме рангов наиболее приспособленные к условиям среды плёнчатые генотипы 23h20 (26), 40h20 (27), 41h18 (24), 50h18 (36), голозёрные – 63h11 (25), 1h18 (29), 5h18 (29), 3h18 (34) (табл. 8).

Таблица 8 – **Результаты ранжирования генотипов овса по показателям адаптивности по признаку «сбор сухого вещества зеленой массы» /**
Table 8 – **Results of the ranking of oat genotypes by indicators of adaptability on the basis of «dry matter of the green mass yield» trait**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Значения рангов / Rank values*								*Сумма рангов / Sum of ranks*
	b_i	S_i^2	*ИС*	*Hom*	*Sc*	*SF*	*КА,%*	*КМ*	
Плёнчатые / Covered									
91h18	1	4	7	7	8	8	4	2	41
41h18	4	3	2	2	2	2	3	6	24
50h18	5	1	5	3	5	6	8	3	36
23h20	6	7	1	1	1	1	1	8	26
39h20	2	2	6	8	9	9	7	1	44
40h20	3	5	3	3	3	4	2	4	27
41h20	8	6	4	4	4	5	6	6	43
42h20	7	9	8	6	7	7	5	5	54
Архан, ст./ ‘Arhan’, st.	9	8	9	5	6	3	9	7	56
Голозёрные / Naked									
5h18	1	3	5	6	5	6	1	2	29
2h18	4	7	7	7	7	7	5	3	47
6h18	3	8	8	8	9	9	7	1	53
161h14	5	6	6	5	6	5	6	6	45
1h18	2	4	4	4	4	4	2	5	29
63h11	7	1	1	2	1	2	3	8	25
3h18	9	2	2	1	2	1	8	9	34
4h18	8	5	3	3	3	3	4	7	36
Азиль, ст. / ‘Azil’, st.	6	9	9	9	8	8	9	4	62

Заключение. Выделены плёнчатые линии овса универсального назначения с повышенной урожайностью зерна и зелёной массы – 91h18, 41h18, 23h20, голозёрные – 5h18, 1h18, 63h11, 4h18. Плёнчатая линия 40h20 с высокой урожайностью зелёной массы (35,6 т/га) – укосного назначения. Плёнчатые генотипы овса более урожайны как по зерну, так и зелёной массе. Средняя урожайность зерна плёнчатых генотипов составила 5,4 т/га, голозёрных – 3,0 т/га, зелёной массы – 30,4 и 25,9 т/га соответственно.

Наибольшей отзывчивостью на улучшение условий среды и высоким уровнем стабильности по признаку «урожайность зерна» отличились плёнчатые генотипы (интенсивный тип) 40h20, 41h20 и голозёрные 1h18, 4h18. Высокой стабильностью признака и селекционной ценностью характеризовались плёнчатые линии 41h18, 50h18, 42h20. Среди голозёрных линий наибольшую адаптивность к условиям среды, согласно изученным параметрам, проявили линии 5h18 и 161h14. По сумме рангов наибольшую ценность представляют плёнчатые линии 91h18, 50h18, 42h20, 23h20, сорт Архан, голозёрные линии 5h18, 161h14, 1h18.

По признаку «сбор сухого вещества зеленой массы» высокие адаптивные способности проявили плёнчатые линии 41h18, 23h20, голозёрные 63h11, 4h18.

Согласно ранжированию параметров адаптивности по признаку «сбор сухого вещества зеленой массы» выделены наиболее приспособленные к условиям среды плёнчатые генотипы 23h20, 40h20, 41h18, 50h18, голозёрные – 63h11, 1h18, 5h18, 3h18. Плёнчатые линии 50h18, 23h20 и голозёрные 5h18, 1h18 имеют высокую хозяйственную ценность по сумме рангов как по признаку «урожайность зерна», так и по признаку «сбор сухого вещества зеленой массы».

Список литературы

1. Зобнина И. В., Корелина В. А., Батакова О. Б. Оценка сортообразцов плёнчатого овса ярового при нестабильности погодных условий. Таврический вестник аграрной науки. 2024;3(39):84–92. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13788555 EDN: LFNGLF

2. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермякова С. В., Лисицын Е. М. Пластичность и стабильность сортов и линий овса в условиях Кировской области. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(8):54–56. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10814 EDN: YAHKLB

3. Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. Journal of Cereal Science. 2009;49(3):413–418. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.009

4. Андреев Н. Р., Гольдштейн В. Г., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Голионко Е. О. Голозёрный овёс – перспективное сырьё для переработки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):447–455. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.447-455 EDN: ADLGDD

5. Фомина М. Н., Иванова Ю. С., Брагин Н. А., Брагина М. В. Кормовая продуктивность и энергетическая питательность селекционных образцов овса посевного (*Avena sativa* L.) в условиях Северного Зауралья. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):116–127. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-2-116-127 EDN: ISJLVL

6. Кабашов А. Д., Власенко Н. М., Лейбович Я. Г., Разумовская Л. Г., Филоненко З. В., Колупаева А. С., Михалин С. Е., Шкодина Е. П. Селекция овса на повышение урожая зеленой массы – важное направление для успешного развития животноводства. В кн.: Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Суздаль – Иваново: ООО «ПресСто», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 2022. С. 190–193. Режим доступа: https://elibrary.ru/oijatn EDN: OIJATN

7. Вологжанина Е. Н., Баталова Г. А., Журавлёва Г. П. Кормовая продуктивность плёнчатого овса в условиях Волго-Вятского региона. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(4):36–40. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10407 EDN: TOTSLE

8. Жданова А. А. Коллекционное изучение сортов овса в условиях юго-востока Камчатского края. Агронаука. 2023;1(1):113–119. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50515976 EDN: DAQYYJ

9. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., et al. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. Acta Physiologiae Plantarum. 2018;40:80. DOI: https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6

10. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Содержание белка и уровень пластичности, стабильности, гомеостатичности коллекционных образцов ржи в условиях северо-западного региона. Вестник КрасГАУ. 2021;3(64):64-70. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-3-64-70 EDN: ULVWNV

11. Полонский В. И., Герасимов С. А., Сумина А. В. Адаптивность образцов овса по величине урожая и содержанию белка в зерне в условиях Восточной Сибири. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022;(2(42)):119–126. DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-119-126 EDN: MNSRIZ

12. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Лоскутов И. Г., Пермякова С. В., Кротова Н. В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса плёнчатого по урожайности в условиях Кировской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):72–79. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-72-79 EDN: AMHHFZ

13. Байкалова Л. П., Серебренников Ю. И. Пластичность и стабильность ярового овса по урожайности и массе 1000 зерен. Вестник КрасГАУ. 2020;(4(157)):37–44. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-37-44 EDN: XQMXWQ

14. Фомина М. Н., Иванова Ю. С., Пай О. А., Брагин Н. А. ‘Тоболяк’ - сорт овса ярового универсального использования. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):107–113. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-107-113 EDN: XLOLIA

15. Юсова О. А., Николаев Н. П., Васюкевич В. С., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020;(2(55)):84–96. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96 EDN: MTSHKB

References

1. Zobnina I. V., Korelina V. A., Batakova O. B. Evaluation of breeding samples of filmy forms of spring oats under unstable weather conditions. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;3(39):84–92. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13788555

2. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V., Lisitsyn E. M. Plasticity and stability of oat varieties and lines under conditions of Kirov region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(8):54–56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10814

3. Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. Journal of Cereal Science. 2009;49(3):413–418. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.009

4. Andreev N. R., Goldstein V. G., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Golionko E. O. Naked oat is promising raw material for deep grain processing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):447-455. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.447-455

5. Fomina M. N., Ivanova Yu. S., Bragin N. A., Bragina M. V. Fodder productivity and digestible energy value of oat (*Avena sativa* L.) cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2024;185(2):116–127. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-2-116-127

6. Kabashov A. D., Vlasenko N. M., Leybovich Ya. G., Razumovskaya L. G., Filonenko Z. V., Kolupaeva A. S., Mikhalin S. E., Shkodina E. P. Breeding of oats to increase the yield of green mass is an important direction for the successful development of animal husbandry. In: Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex. Suzdal' – Ivanovo: *OOO «PresSto», FGBNU «Verkhnevolzhskiy FANTs»*, 2022. pp. 190–193. URL: https://elibrary.ru/oijatn

7. Vologzhanina E. N., Batalova G. A., Zhuravleva G. P. Fodder productivity of chaffy oats in the Volga-Vyatka region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(4):36–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10407

8. Zhdanova A. A. Collection study of oat varieties in the conditions of the south-east of the Kamchatka territory. *Agronauka.* 2023;1(1):113–119. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50515976

9. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., et al. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. Acta Physiologiae Plantarum. 2018;40:80. DOI: https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6

10. Aniskov N. I., Safonova I. V. Protein content and level of plasticity, stability, homeostaticity of collection rye samples under conditions of the northwestern region. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;3(64):64-70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-3-64-70

11. Polonskiy V. I., Gerasimov S. A., Sumina A. V. Adaptability of oats accessions in yield and protein content in the grain in the conditions of Eastern Siberia. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2022;(2(42)):119–126. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-119-126

12. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Loskutov I. G., Permyakova S. V., Krotova N. V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov province. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):72–79. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

13. Baykalova L. P., Serebrennikov Yu. I. The plasticity and stability of spring oats in yield and the mass of and 1000 grains. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(4(157)):37–44. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-37-44

14. Fomina M. N., Ivanova Yu. S., Pay O. A., Bragin N. A. 'Tobolyak' - sort ovsa yarovogo universal'nogo ispol'zovaniya. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):107–113. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-107-113

15. Yusova O. A., Nikolaev N. P., Vasyukevich V. S., Aniskov N. I., Safonova I. V. Spring grain quality of omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2020;(2(55)):84–96. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96

Сведения об авторах

✉ **Вологжанина Елена Николаевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2187-3970**, e-mail: helen.vol@list.ru

Information about the authors

✉ **Elena N. Vologzhanina**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2187-3970**, e-mail: helen.vol@list.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.251–261
УДК 634.711.3:631.527

Оценка сортообразцов малины по компонентам продуктивности

© 2025. М. А. Подгаецкий ✉, С. Н. Евдокименко
ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Российская Федерация

Проведена работа по оценке сортообразцов малины по продуктивности, ее стабильности по годам исследований и выявлению компонентов, вносящих наибольший вклад в повышение урожайности в условиях Брянской области. Изучение проводили в 2022–2024 гг. Объекты исследований – 21 сортообразец малины 2020 года посадки. Учеты биологической продуктивности сортообразцов и ее компонентов, статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами. Результаты дисперсионного анализа за период исследований по компонентам продуктивности сортов и отборных форм указывают на наличие достоверных различий по влиянию сорта, года, а также их взаимодействия. Не выделено сортообразцов-источников комплекса элементов продуктивности высокого уровня, который стабильно проявляется по годам исследований. Наибольшее количество плодоносящих стеблей на куст (5,6 шт.) формировала отборная форма № 8-6-3 (Россия) с генотипическим контролем показателя (70,0 %). Длинные латералы (более 20 см) отмечены у сортов Бальзам, Скромница и отбора 6-125-4 (Россия) с высокой долей контроля признака генотипом (41,9–56,7 %). Источниками повышенного числа латералов на стебле (21,6–27,0 шт.) являются сорта Лавина, Гусар, Бальзам и отбор 8-6-3 (Россия) с влиянием генотипа на проявление показателя от 52,6 до 85,5 %. Наибольшее количество ягод на латерал (14,4 шт.) с наименьшей вариабельностью по годам (25,0 %) формирует отборная форма 2-90-3 (Россия). Крупноплодностью (3,6–4,3 г) и стабильным проявлением признака по годам исследования (6,3–31,0 %) отличились интродуцированные сорта Glen Magna, Glen Ample (Великобритания), Sokolica (Польша), а также генотипы российской селекции Лавина и 6-125-3 с генетическим контролем показателя на уровне 65,3–93,8 %. Корреляционный анализ позволил установить, что вклад компонентов продуктивности в общий урожай различается и варьирует в зависимости от условий внешней среды, поэтому отбор высокопродуктивных растений в потомстве малины необходимо проводить по всем компонентам и вести селекционный процесс на повышение уровня каждого из них.

Ключевые слова: *Rubus idaeus* L., *сорт, биологическая продуктивность, количество плодоносящих побегов, количество латералов, длина латералов, число ягод на латерал, средняя масса одной ягоды*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (тема № FGUW 2021-0003).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Подгаецкий М. А., Евдокименко С. Н. Оценка сортообразцов малины по компонентам продуктивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):251–261. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.251-261

Поступила: 11.02.2025 Принята к публикации: 19.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Evaluation of raspberry cultivar samples by productivity components

© 2025. Maxim A. Podgaetsky ✉, Sergey N. Evdokimenko
Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russian Federation

The study has been carried out to evaluate raspberry cultivar samples by productivity, its stability over the years of the research and to identify the components that make the greatest contribution to increasing yields in the conditions of the Bryansk region. The study was conducted in 2022–2024. The objects of the research were 21 raspberry cultivar samples planted in 2020. The biological productivity accounting of cultivar samples and its components, statistical processing of data was carried out using generally accepted methods. The results of the analysis of variance for the period of the research by the productivity components of cultivars and selected forms indicate the presence of reliable differences in the influence of cultivar, year, as well as their interaction. No cultivar samples have been identified as sources of a complex of high-level productivity elements that are consistently evident over the years of the research. The highest number of fruit-bearing stems per bush (5.6 pieces) was formed by selected form No. 8-6-3 (Russia) with genotypic control of the index (70.0 %). The long laterals (more than 20 cm) were noted in cultivars 'Balzam', 'Skromnitsa' and selection 6-125-4 (Russia) with a high degree of trait control by genotype (41.9–56.7 %). The sources of increased number of laterals on the stem (21.6-27.0 pieces) were cultivars 'Lavina', 'Gusar', 'Balzam' and selection 8-6-3 (Russia) with the influence of genotype on the manifestation of the index from 52.6 to 85.5 %. The highest number of berries per lateral (14.4 pieces) with the lowest variability by years (25.0 %) is formed by selected form 2-90-3 (Russia). The introduced cultivars 'Glen Magna', 'Glen Ample' (Great Britain), 'Sokolica' (Poland), as well as the genotypes of Russian breeding 'Lavina' and 6-125-3 with genetic control of the indicator at the level of 65.3–93.8 % were distinguished by large-fruitfulness (3.6–4.3 g) and stable manifestation of the trait over the years of the research (6.3–31.0 %). Correlation analysis allowed to establish that the contribution of productivity components to the total yield is different and varies

depending on environmental conditions, so the selection of highly productive plants in raspberry progeny should be carried out for all components and breeding process to increase the level of each of them.

Keywords: *Rubus idaeus* L., *cultivar, biological productivity, number of fruiting shoots, number of laterals, length of laterals, number of berries per lateral, average mass of berries*

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery (theme No. 0432-2021-0003).

The authors are grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citations: Podgaetsky M. A., Evdokimenko S. N. Evaluation of raspberry cultivars by productivity components. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):251–261. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.251-261

Received: 11.02.2025 Accepted for publication: 19.04.2025 Published online: 29.04.2025

В последнее время селекционеры особое внимание уделяют качественным показателям плодов малины, их пищевой и диетической ценности. Однако продуктивность растений остается одним из приоритетных направлений селекции [1].

За счет реализации селекционных программ по малине созданы сорта с высокой биологической продуктивностью 5–8 кг/куст и потенциальной урожайностью до 42 т/га [2, 3], а по сообщениям А. Дейл (A. Dale) [4] – до 66 т/га. Потенциал этот реализуется при объединении в одном генотипе высоких уровней компонентов продуктивности: массы плодов, количества их на латерале, количества латералов на стебле и числа плодоносящих стеблей на погонный метр или куст [5]. Однако проявление признака зависит не только от генотипа, но и окружающей среды, а также взаимодействия генотип×среда [6, 7], поэтому в производственных условиях не удается достичь даже 50 % ожидаемых результатов. Зимние повреждающие факторы, весенние заморозки, повышенные среднесуточные температуры, длительные засухи, наряду со снижением количества осадков в летний период, негативно воздействуют на физиологические процессы растения и приводят к нестабильности плодоношения [8], в результате чего фактическая урожайность нередко снижается до 4–6 т/га [9, 10].

Для устойчивого производства ягод необходимо совершенствовать сортимент генотипами, адаптированными к климатическим условиям выращивания, способными противостоять стрессорам внешней среды и давать высокие и стабильные урожаи [11], что положительно отразится на экономической эффективности [12]. В селекционном процессе для достижения необходимых результатов очень важным является правильный подбор родительских пар, от которых зависит генотипическое и фенотипическое проявление признаков у потомства [6].

В литературе имеются противоречивые сведения о компонентах продуктивности, вносящих наибольший вклад в повышение урожайности малины. М. Д. Гонсалес (M. D. González) [13] установил сильную положительную корреляцию продуктивности малины от высоты плодоносящего стебля (r = 0,73) и среднюю зависимость от количества узлов (r = 0,49). При этом количество латералов (r = 0,14), их длина (r = 0,11) и масса ягод (r = 0,03) не оказывают значительного влияния. Наоборот, П. Младин и Г. Младин (P. Mladin, G. Mladin) [14] сообщили, что главными компонентами, формирующими общую продуктивность растений, являются длина плодовых веточек, количество плодов на стебель и их масса. По исследованиям А. Радович с соавт. (A. Radovich et al.) [15], наиболее тесная связь продуктивности наблюдается с массой плода, его длиной и шириной, количеством латералов на стебель, их длиной и количеством генеративных органов. Сильная положительная корреляция между продуктивностью и массой ягод отражена в работах Ф. Ф. Адамень и др. (r = 0,86) [16] и Е. В. Аминовой с коллегами (r = 0,85) [17]. В работе Эм. Дж. Стивенса и др. (M. J. Stephens et al.) [18] сообщается, что все компоненты продуктивности вносят свой вклад в повышение урожайности. Отбор высокопродуктивных генотипов на ранних стадиях развития растений П. М. Марчи с соавт. (P. M. Marchi et al.) [19] предлагает проводить по суммарной площади листьев с растения.

Цель исследования – оценить сортообразцы малины по продуктивности и стабильности этого признака по годам исследований, выявить компоненты, вносящие наибольший вклад в повышение урожайности.

Научная новизна – выявлены генетические источники стабильно высокого проявления отдельных компонентов продуктивности, независимо от условий вегетации, для включения в селекционный процесс *Rubus idaeus*. Установлено, что в формировании урожая малины участвуют все компоненты продуктивности в разной степени и доля их участия зависит от сложившихся погодных условий.

Материал и методы. Исследования проводили на коллекционном участке и участке первичного изучения Кокинского опорного пункта ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Брянская область) в 2022–2024 гг. Объекты исследований – 21 сортообразец малины 2020 года посадки: Пересвет, Иван Купала, Вольница, Гусар, Лавина, Бальзам, Улыбка, Скромница (Россия); Chemainus (Канада); Glen Magna, Glen Ample, Octavia (Великобритания); Lazcka, Sokolica (Польша); Tadmor (Новая Зеландия); №19-15-6, 6-125-4, 6-125-3, 1-188-1, 2-90-3, 8-6-3 (Россия).

Учет биологической продуктивности проводили согласно методическим указаниям[1]. Изучение нагрузки стебля плодами осуществляли путем подсчета количества латералов на стебле и среднего числа ягод на одну плодовую веточку. Среднюю массу одной ягоды определяли на электронных весах SCC-750 путем взвешивания не менее 100 плодов. Исследования проводили в трехкратной повторности.

Влияние на продуктивность растений малины факторов «генотип», «год» и их взаимодействия оценивали с помощью дисперсионного анализа[2]. Зависимость продуктивности от составляющих компонентов определяли корреляционным анализом. Расчеты выполняли с помощью надстройки AgCStat к программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Температурный режим и степень влагообеспечения по годам исследований значительно различались, что оказывало влияние на продуктивность растений малины.

Температуры в мае 2022 года были ниже климатической нормы в среднем на 1,3 ºС (рис. 1), вследствие чего наблюдали задержку фенологических фаз развития малины на 10–14 дней. Однако повышение температуры в июне наряду с умеренным увлажнением способствовали обильному цветению и формированию урожая хорошего качества. Все генотипы отечественной селекции сформировали более 20 латералов на плодоносящий стебель. Сорта зарубежной селекции, ввиду низкой зимостойкости, образовывали 12–19 плодовых веточек на стебель. Нагрузка латерала плодами была максимальной за весь период исследований.

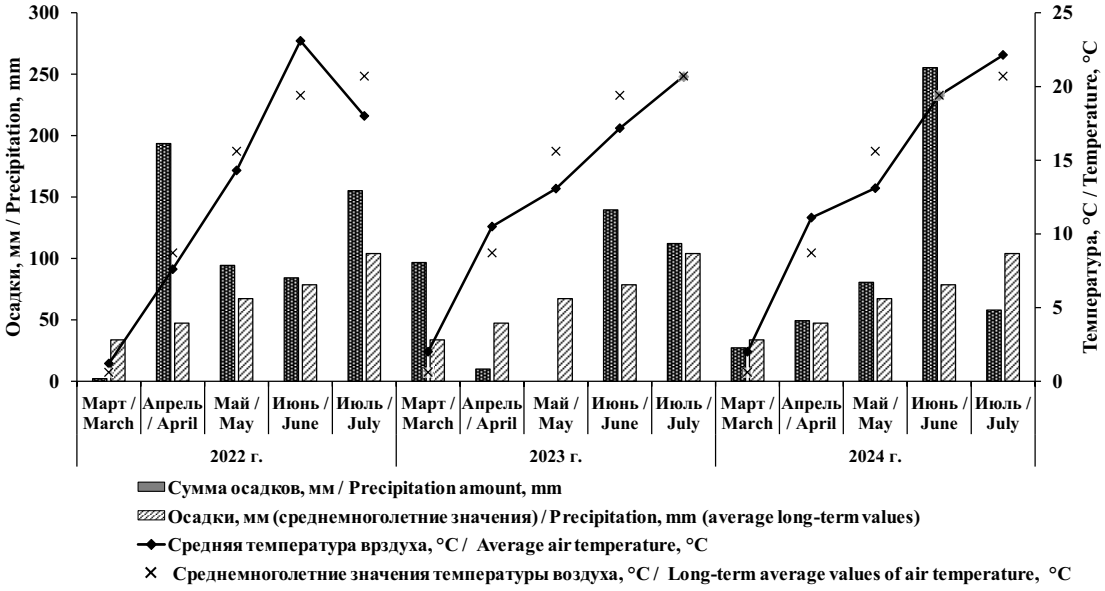


Рис. 1. **Метеорологические условия периодов вегетации сортообразцов малины (по данным метеостанции Брянского ГАУ) (2022–2024 гг.)** /

Fig. 1. **Meteorological conditions of vegetation periods of raspberry cultivar samples (according to the meteorological station of Bryansk State Agrarian University) (2022–2024)**

[1]Казаков И. В., Грюнер Л. А., Кичина В. В. Малина, ежевика и их гибриды. В книге: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орёл, 1999. С. 184–185.
[2]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011. 352 с.

Температурный режим апреля 2023 года способствовал более раннему наступлению фенологических фаз. Распускание почек и отрастание однолетних побегов отмечено с 19 апреля. Однако дальнейшее увеличение температуры воздуха, превышающей среднемноголетние значения на 1,8 °С, наряду с отсутствием осадков в течение практически двух месяцев (апрель-май), замедлили рост и развитие растений. Кроме того, ночные заморозки 7 мая до -3,1 °С и 8 мая до -1,5 °С способствовали подмерзанию зачатков цветков. Так, у большинства сортообразцов (57,1 %) во время цветения (I декада июня) были отмечены цветки с подмерзшими пестиками, а на сортах зарубежной селекции Chemainus и Tadmor обнаружены цветки с недоразвитыми тычинками или их отсутствием, что привело к общему уменьшению количества завязавшихся плодов на растение. Однако следует отметить, что снижение продуктивности компенсировалось некоторым увеличением массы ягод за счет повышения среднесуточных температур и обилия осадков в июне и июле. Гидротермический коэффициент в этот период находился в оптимальных значениях – 1,25 и 1,43 (рис. 2).

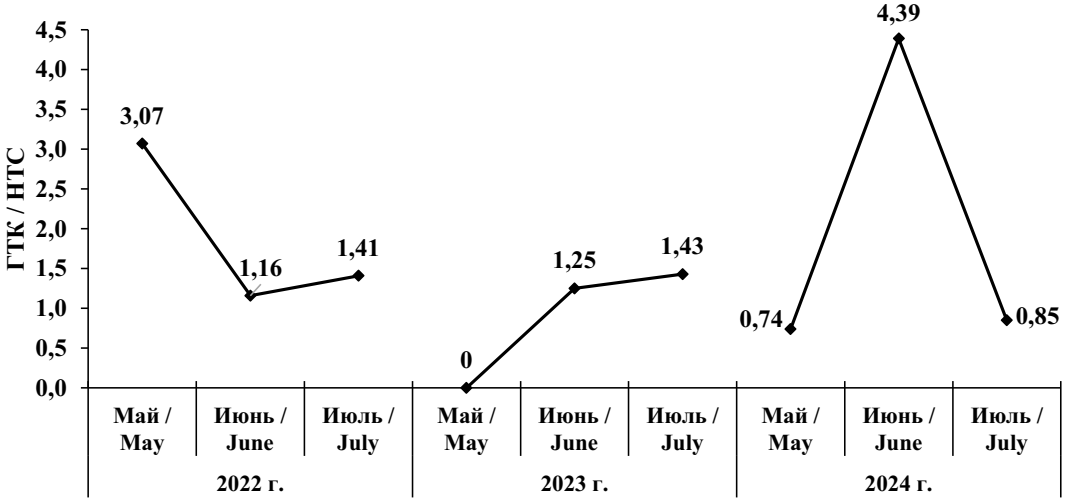


Рис. 2. **Уровень влагообеспеченности периодов вегетации сортообразцов малины (по значениям гидротермического коэффициента – ГТК) (2022–2024 гг.)** /

Fig. 2. **Level of moisture availability during vegetation periods of raspberry cultivar samples (according to values of hydrothermal coefficient – HTC) (2022–2024)**

Начало вегетации 2024 года было аналогично 2023 году. Повышенные среднесуточные температуры в марте, превышающие норму в среднем за месяц на 1,4 °С, способствовали раннему началу вегетации растений малины. Распускание почек отмечено в I декаде апреля, но заморозки 4 мая до -3,0 °С и 9 мая до -2,8 °С приостановили рост и развитие растений. В связи с этим, кроме подмерзания зачатков цветков малины, на многих сортах генетической коллекции отмечено повреждение листового аппарата и апикальной почки побегов замещения, что привело к их ветвлению. В этот год не выделено образцов с высокой нагрузкой латерала плодами, избыточное количество осадков в июне (255,3 мм) благоприятствовало интенсивному увеличению их размера. Тем не менее, в период созревания урожая большинства сортообразцов (I и II декады июля) отмечался дефицит влаги при высоких среднесуточных температурах до 26,4 °С. Сложившиеся условия привели к уменьшению уровня влагообеспеченности (ГТК = 0,85), что способствовало снижению массы плодов сортов среднего и позднего сроков созревания. Характерная особенность таких ягод – повышенная прочность и концентрация растворимых сухих веществ.

Проведенный многофакторный дисперсионный анализ за период исследований всей совокупной выборки по компонентам продуктивности указал на наличие достоверных различий ($F_{факт.}>F_{табл.}$) влияния сорта (фактор А), года (фактор В), а также их взаимодействия (А×В) при уровне вероятности $P_{0,95}$ (табл. 1).

На компоненты продуктивности наибольшее существенное влияние оказывал фактор «генотип» и в меньшей степени – взаимодействие факторов «генотип×год» и условия года. Наименьшее влияние фактора А отмечено на показатель «число плодоносящих стеблей», при этом взаимодействие факторов составило значительную часть общего варьирования. Влияние факторов А×В достоверно (31,41 %), так как оно превосходит влияние случайных

факторов (30,70 %), которые формируют достаточно высокую долю и могут быть обусловлены типом и плодородием почв, аэрацией, минеральным питанием и прочими условиями.

Таблица 1 – **Результаты дисперсионного анализа по влиянию изучаемых факторов на компоненты продуктивности сортообразцов малины, %** /
Table 1 – **Results of dispersion analysis on the influence of the studied factors on the productivity components of raspberry cultivar samples, %**

Компонент продуктивности / Productivity component	*Фактор А (генотип) / Factor A (genotype)*	*Фактор В (год) / Factor B (year)*	*Взаимодействие факторов (А×В) / Interaction of factors (A×B)*	*Повторений / Repetitions*	*Случайное влияние / Accidental influence*
Число плодоносящих стеблей / Number of fruiting stems	25,69	8,51	31,41	3,68	30,70
Число латералов на побег / Number of laterals per shoot	55,91	5,68	21,8	7,75	8,76
Длина латералов / Length of laterals	69,93	2,19	6,53*	0,74	20,61
Число ягод на латерал / Number of berries per lateral	44,99	13,22	30,16	2,30	9,33
Средняя масса ягод / Average mass of berries	52,13	0,66	19,27	25,78	2,15
Отношение дисперсий / Dispersion ratio	$F_{факт.}>F_{табл.}$	$F_{факт.}>F_{табл.}$	$F_{факт.}>F_{табл.}$	-	-

* $F_{факт.}<F_{табл.}$ / $F_{actual}<F_{tabular}$

Наибольшее влияние фактора А обнаружено на показатель «длина латералов» (69,93 %), по фактору В отмечено незначительное варьирование, при этом взаимное влияние факторов (А×В) несущественное ($F_{факт.}<F_{табл.}$), что подтверждает постоянство генотипов. Высокая доля случайного влияния (20,61 %) может быть связана с агротехническими приемами, например, укорачиванием побегов для стимулирования роста латералов.

Количество латералов на побеге обусловлено сортовыми особенностями (55,91 %) и варьирует при взаимодействии генотипа с окружающей средой. Показатель, кроме влияния погодных условий, может изменяться в результате обрезки побегов, а также различных механических воздействий, приводящих к отламыванию плодовых веточек.

Несмотря на то, что количество ягод на латерале обусловлено генотипом (44,99 %), результаты анализа указывают на наличие существенных различий по взаимодействию факторов А×В, что свидетельствует о различиях проявления признака по повторениям в период исследований и может являться следствием возвратных заморозков в мае 2023 и 2024 гг., которые привели к гибели цветков.

Также анализ позволил установить, что средняя масса плодов контролируется генотипом (52,13 %) и в меньшей степени варьирует в зависимости от погодных условий. Кроме того, отмечена вариабельность по повторениям (25,78 %), что может являться следствием снижения средней массы ягоды от первого сбора к последнему.

Для селекции на увеличение продуктивности растений в качестве родительских форм необходимо подбирать генотипы не только с высоким уровнем проявления показателя, но и со стабильностью его в различных условиях выращивания. В селекционном процессе использование форм с генетическим контролем показателей продуктивности значительно облегчит создание урожайных сортов. В связи с этим был проведен дисперсионный анализ компонентов продуктивности по каждому сорту отдельно.

Анализ количества плодоносящих стеблей на куст позволил установить наличие существенных различий между сортами и годами исследований (табл. 2). Размах изменчивости признака находился в пределах 3,0–5,6 шт/куст. Несмотря на то, что в среднем за период исследований наибольшим значением показателя отмечены сорт Скромница и отборные формы № 1-188-1, 2-90-3 и 8-6-3, формирующие среднее число побегов на куст (5,1–5,6 шт.), лишь у формы № 8-6-3 этот показатель в большей степени контролировался генотипом (C_P = 70,0 %). У сорта Скромница и отборных форм № 1-188-1 и 2-90-3 влияние на проявление данного показателя оказали условия вегетационного периода (C_V = 50,5–70,0 %).

Таблица 2 – **Характеристика сортообразцов малины по отдельным морфоструктурным компонентам продуктивности (2022–2024 гг.)** /
Table 2 – **Characteristics of raspberry cultivar samples by individual morphostructural components of productivity (2022–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, form	*Плодоносящие стебли / Fruiting stems*			*Латералы / Laterals*					
	кол-во, шт/куст / number, pcs/bush	*C_P, %*	*C_V, %*	*длина, см / length, cm*	*C_P, %*	*C_V, %*	*кол-во, шт/стебель / number, pcs/stem*	*C_P, %*	*C_V, %*
‘Glen Magna’	3,0	40,0	20,0	18,6	55,2	3,9	15,0	8,3	91,3*
Пересвет / ‘Peresvet’	3,0	8,3	58,3*	18,2	75,4	10,0	26,1	13,8	78,3*
‘Chemainus’	3,2	43,7	6,2	20,5	37,5	47,5	11,1	2,3	89,5*
‘Glen Ample’	3,4	4,8	91,7*	17,8	4,2	40,3*	12,3	54,4	23,3
‘Lazcka’	3,4	36,8	36,8	20,8	20,9	5,2	15,3	25,9	71,3*
Иван Купала / ‘Ivan Kupala’	3,4	2,2	93,5*	26,5	13,7	12,3	25,3	26,6	70,5*
Лавина / ‘Lavina’	3,8	8,9	39,2*	19,3	22,3	50,9*	21,0	65,9	19,6
‘Sokolica’	4,0	50,0	37,5	22,8	24,1	59,3*	16,9	66,2	24,4
Вольница / ‘Vol'nica’	4,1	31,8	4,5	21,6	60,7	32,2*	22,3	23,8	70,0*
Гусар / ‘Gusar’	4,2	8,0	55,7*	19,3	23,6	0,8	27,0	59,6	19,1
‘Tadmor’	4,3	3,3	83,3*	26,2	29,9	12,3	10,4	18,6	80,8*
19-15-6	4,3	25,0	25,0	19,7	19,0	52,9*	21,9	13,3	45,1*
Бальзам / ‘Bal'zam’	4,4	18,9	67,6*	20,4	56,7	10,0	22,2	52,6	20,7
6-125-4	4,4	83,8	10,8	21,9	41,9	16,3	23,7	12,4	37,3*
Улыбка / ‘Ulybka’	4,6	5,5	62,2*	19,3	29,1	65,5*	26,2	12,9	81,5*
6-125-3	4,8	95,7	1,4	20,7	39,2	50,3*	20,3	54,4	34,4
‘Octavia’	4,8	82,4	11,8	18,1	22,1	62,7*	18,4	12,7	2,9
1-188-1	5,1	10,0	70,0*	24,0	29,6	1,7	20,7	31,7	61,7*
Скромница / ‘Skromnica’	5,2	7,2	50,5*	21,0	52,9	14,2	27,4	13,8	20,8*
2-90-3	5,4	7,0	61,0*	16,9	18,7	70,6*	21,3	41,4	51,9*
8-6-3	5,6	70,0	20,0	17,6	8,2	16,9	21,6	85,5	5,5
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,56	-	-	2,82	-	-	3,97	-	-

Примечания: C_P – влияние генотипа, C_V – влияние года, *$F_{факт.}>F_{табл.}$ – существенные различия /
Notes: C_P – influence of genotype, C_V – influence of year, *$F_{actual}>F_{tabular}$ – significant differences

Увеличение длины латералов важно не только для повышения продуктивности, но и пригодности к машинной уборке традиционных (неремонтантных) сортов малины – ягоды с длинных латералов легче уловить комбайном. Длина плодовых веточек связана с их положением на стебле. Самые длинные образуются в нижней части стебля и уменьшаются к верхней. Средняя величина показателя за период исследований варьировала в пределах от 16,9 до 26,5 см. Выгодно отличались сорта Иван Купала, Tadmor и отборная форма 1-188-1, однако влияние генотипа (C_P) на проявление признака у них незначительное (13,7–29,9 %) и в большинстве своем обусловлено влиянием случайных факторов. Наибольший интерес для селекции на увеличение длины латералов представляют сорта Бальзам, Скромница и селекционная форма № 6-125-4, которые образуют плодовые веточки длиной более 20 см с высокой долей контроля признака генотипом (41,9–56,7 %) и несущественными различиями по годам исследований (10,0–16,3 %). Несмотря на то, что сорт Вольница формирует длинные латералы при контроле показателя, обусловленного влиянием генотипа (C_P = 60,7 %), у него отмечена существенная вариабельность по годам исследований (C_V = 32,2 %).

Количество латералов на плодоносящем стебле напрямую зависит от его высоты, однако, при выращивании малины проводят прищипку однолетних побегов для лучшего их вызревания и повышения зимостойкости, а у оставленных на плодоношение побегов после зимы проводят укорачивание до хорошо развитой почки. Такой агроприем уменьшает количество латералов, и их величина остается зависимой от того, с какого узла от основания стебля они начинают образовываться.

Более 20 плодовых веточек на стебель как по годам исследований, так и в среднем за период изучения формировали сорта Бальзам, Вольница, Улыбка, Иван Купала, Лавина, Скромница, Гусар, Пересвет и отборы № 8-6-3, 19-15-6, 6-125-4, 2-90-3. Только у сортов Лавина, Гусар, Бальзам и № 8-6-3 отмечено высокое влияние генотипа (C_P = 52,6–85,5 %) на проявление показателя и несущественные различия между годами исследований (C_V = 5,5–20,7 %).

Дисперсионный анализ количества плодов на латерал позволил установить, что проявление признака в значительной степени обусловлено воздействием факторов периода вегетации (C_V), что стало следствием в мае 2023 и 2024 года возвратных заморозков. В исследуемый период не отмечено форм с высокой нагрузкой латералов плодами (табл. 3). Значительная часть сортообразцов (52,4 %) формировала 8,6–10,7 ягод на плодовой веточке. Наибольшее их количество образовали сорт Иван Купала (16,3 шт/латерал) и отборная форма № 2-90-3 (14,4 шт/латерал), при этом достаточно высокое влияние генотипа (C_P = 48,4 %) на проявление признака и несущественные различия между годами исследования прослеживались лишь у № 2-90-3 (C_V = 25,0 %).

Таблица 3 – **Характеристика сортообразцов малины по нагрузке латерала ягодами и их средней массе (2022–2024 гг.)** /
Table 3 – **Characteristics of raspberry cultivar samples by lateral berry load and their average weight (2022–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, form	*Число ягод на латерал / Number of berries per lateral*			*Средняя масса одной ягоды / Average weight of one berry*		
	шт. / pcs.	C_P, %	C_V, %	*г / g*	C_P, %	C_V, %
‘Glen Magna’	9,5	28,6	42,9	4,3	91,0	6,3
Пересвет / ‘Peresvet’	10,4	20,9	67,0*	2,8	87,6	1,1
‘Chemainus’	10,4	0,1	99,7*	4,0	46,1	48,1*
‘Glen Ample’	11,3	4,4	92,5*	3,8	75,1	21,8
‘Lazcka’	10,7	25,9	44,4	4,7	56,4	41,8*
Иван Купала / ‘Ivan Kupala’	16,3	22,2	54,2	3,4	65,8	32,7*
Лавина / ‘Lavina’	11,6	1,6	95,3*	3,8	93,8	4,9
‘Sokolica’	9,9	1,7	32,8*	4,1	65,3	31,0*
Вольница / ‘Vol'nica’	11,4	9,5	71,2*	2,8	86,3	5,5
Гусар / ‘Gusar’	9,6	41,3	15,2	3,0	84,6	12,6*
‘Tadmor’	9,6	10,8	18,9	3,9	58,7	40,6*
19-15-6	11,1	24,3	62,1*	3,2	92,7	5,7
Бальзам / ‘Bal'zam’	8,9	4,0	72,6*	3,4	75,1	15,3
6-125-4	10,4	34,2	34,2	3,1	79,7	20,3*
Улыбка / ‘Ulybka’	8,6	23,2	52,4	2,8	83,2	16,2*
6-125-3	12,3	7,0	84,2*	3,6	68,4	25,0
‘Octavia’	12,3	8,3	89,3*	4,3	11,7	88,0*
1-188-1	11,9	8,0	77,0*	4,0	41,0	55,8*
Скромница / ‘Skromnica’	8,9	17,1	48,7	2,9	75,0	6,2
2-90-3	14,4	48,4	25,0	3,4	67,2	28,8*
8-6-3	13,1	10,0	70,0*	3,3	46,8	51,4*
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,72	-	-	0,22	-	-

Примечания: C_P – влияние генотипа, C_V – влияние года *$F_{факт.}>F_{табл.}$ – существенные различия /
Notes: C_P – influence of genotype, C_V – influence of year, *$F_{actual}>F_{tabular}$ – significant differences

По массе плодов отмечены значительные сортовые различия. Генотипы разделились на две равные группы: средние и крупные. Группу крупноплодных (средняя масса ягоды более 3,5 г) составили сорта Лавина, Glen Magna, Chemainus, Tadmor, Sokolica, Octavia, Lazcka, Glen Ample и отборные формы № 1-188-1, 6-125-3. У сортообразцов Лавина, Glen Magna, Glen Ample, № 6-125-3 отмечено значительное влияние генотипа на крупноплодность (C_P = 65,3–93,8 %), у остальных на проявление этого показателя, кроме генотипа, существенное влияние оказали условия года.

Наибольшим биологическим урожаем с одного куста (более 4 кг) выделились сорта Octavia, Иван Купала и отборные формы 6-125-3, 1-188-1, 8-6-3, 2-90-3 (рис. 3). Анализ данного показателя позволил установить, что наиболее адаптированными к изменяющимся условиям внешней среды были лишь отборные формы 6-125-3, 1-188-1 и 2-90-3. Влияние генотипа (C_P = 66,2–80,3 %) у них значительно превышало воздействие условий года (C_V =13,5–22,7 %).

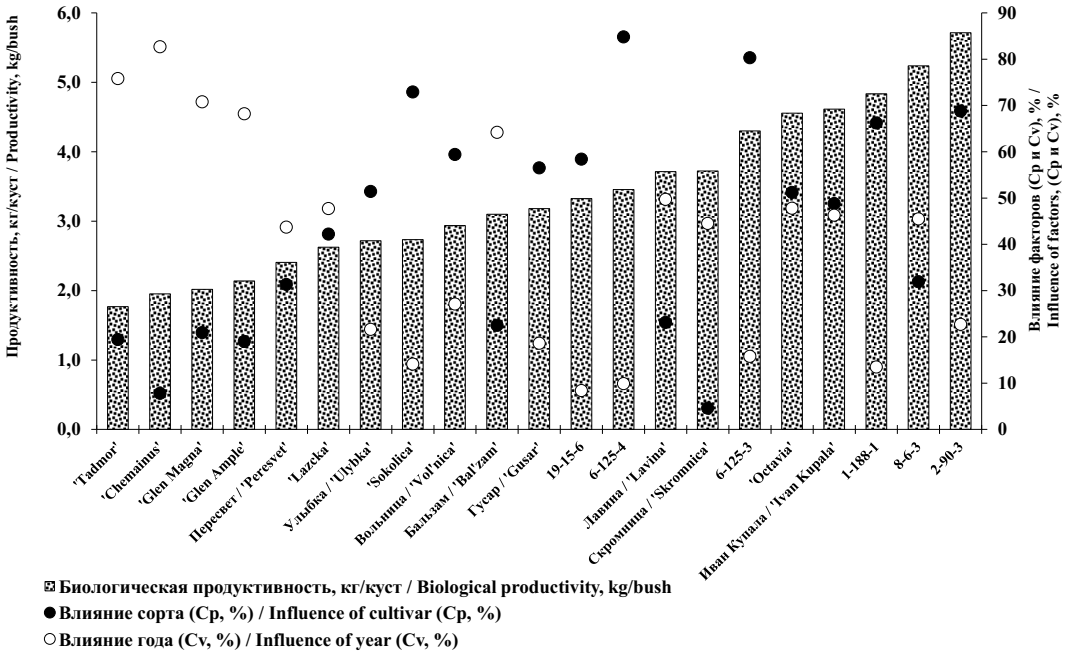


Рис. 3. **Биологическая продуктивность сортообразцов малины (2022–2024 гг.) /**
Fig. 3. **Biological productivity of raspberry cultivar samples (2022–2024)**

Высокой степенью постоянства генотипа и потенциалом продуктивности более 3 кг на куст отмечены сорт Гусар, отборные формы 19-15-6, 6-125-4. Сорта Бальзам, Лавина, Скромница, несмотря на высокий уровень показателя, значительно реагируют на изменения условий произрастания (C_V = 44,5–64,2 %), что свидетельствует об их изменчивости.

Таким образом, среди представленных образцов генетической коллекции не удалось отобрать формы, отличающиеся стабильностью высокого комплексного проявления компонентов продуктивности по годам исследований. В связи с этим для установления компонентов, наиболее влияющих на уровень продуктивности, был проведен корреляционный анализ.

В наиболее благоприятном 2022 г. на продуктивность сортообразцов малины существенное влияние оказали количество плодоносящих побегов (r = 0,68) и количество ягод на латерал (r = 0,61) (рис. 4). Средняя прямая положительная связь продуктивности обнаружена со средней массой ягод (r = 0,47) и длиной латералов (r = 0,41).

В значительно отличающемся по метеорологическим условиям 2023 г., как и в 2022 г., с продуктивностью наиболее коррелировали число плодоносящих побегов (r = 0,76), количество ягод на латерал (r = 0,69) и средняя масса ягоды (r = 0,60). Отмечается средняя отрицательная зависимость с длиной латералов (r = -0,56) и очень слабая с их количеством (r = -0,08), что может быть следствием возвратных майских заморозков, приведших к гибели зачатков цветков.

В 2024 г. продуктивность формировалась за счет нагрузки латералов плодами (r = 0,76). Слабая положительная корреляция отмечена с длиной латералов (r = 0,25) и средней массой ягоды (r = 0,31). В этот период величина плодоносящих побегов не оказала влияния на продуктивность (r = 0,16).

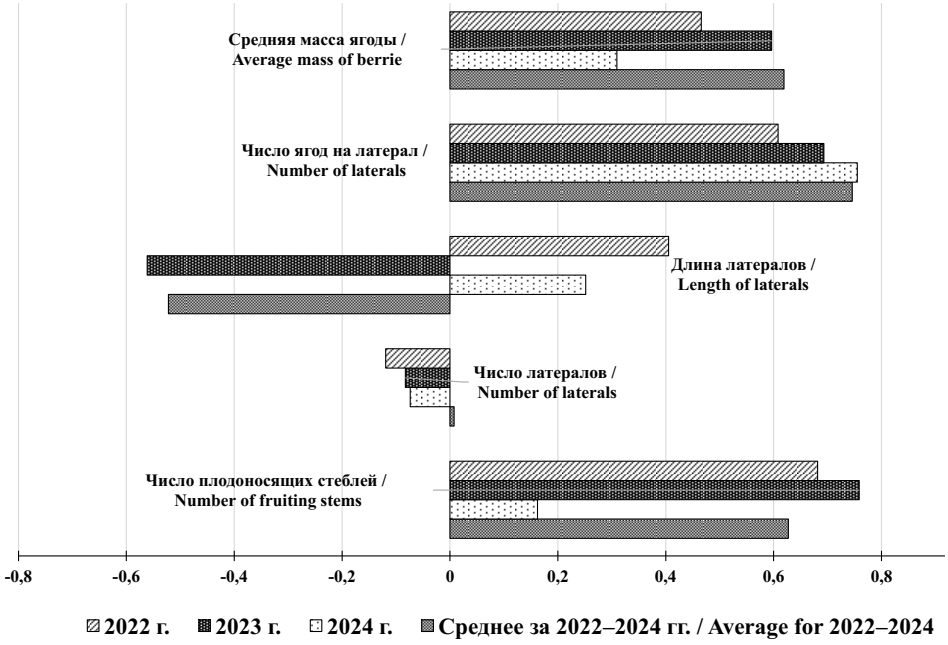


Рис. 4. **Корреляционные связи биологической продуктивности с ее компонентами у сортообразцов малины** /

Fig. 4. **Correlation links of biological productivity with its components in raspberry cultivar samples**

Таким образом, за период исследований урожай с куста на 56 % складывался из многоплодности латералов (R^2 = 0,56), на 40 % – числа плодоносящих стеблей (R^2 = 0,40) и 38 % – средней массы ягоды (R^2 = 0,38).

Корреляционный анализ позволил установить, что вклад компонентов продуктивности в общий урожай сортообразцов малины разный и варьировал в зависимости от условий периода вегетации, поэтому отбор высокопродуктивных растений в потомстве малины необходимо проводить по всем компонентам и вести селекционный процесс на повышение каждого из них.

Выводы. Оценка сортообразцов малины красной по продуктивности и стабильности этого признака в условиях Брянской области в период 2022–2024 гг. позволила сделать следующие выводы:

1. Наибольшее количество плодоносящих стеблей на куст (5,6 шт.) с генотипическим контролем показателя (C_P = 70,0 %) формирует отборная форма 8-6-3.

2. В селекции на увеличение длины латералов необходимо использовать сорта Бальзам, Скромница и отбор 6-125-4, которые образуют плодовые веточки длиной более 20 см с высокой долей контроля признака генотипом (C_P = 41,9–56,7 %).

3. Источниками количества латералов на стебель (более 20 шт.) являются сорта Лавина, Гусар, Бальзам и отбор 8-6-3 с высоким влиянием генотипа на проявление показателя (C_P = 52,6–85,5 %).

4. Наибольшим числом ягод на латерал (14,4 шт.) и высоким влиянием генотипа (C_P = 48,4 %) на проявление признака характеризуется отборная форма 2-90-3.

5. В селекции на повышение массы плодов необходимо использовать интродуцированные сорта Glen Magna, Glen Ample, Sokolica, а также генотипы селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства Лавина и 6-125-3 (C_P = 65,3–96,1 %), формирующие крупные плоды (3,6–4,3 г) независимо от условий вегетационного периода (C_v = 6,3–31,0 %).

6. В селекции на повышение уровня продуктивности малины важен каждый компонент, заложенный в генотипе исходной формы, при его стабильном проявлении в различных условиях окружающей среды.

Список литературы

1. Foster T. M., Bassil N. V., Dossett M., Worthington M. L., Graham J. Genetic and genomic resources for Rubus breeding: a roadmap for the future. Horticulture Research. 2019;6:116. DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-019-0199-2

2. Palonen P., Laine T., Mouhu K. Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. Scientia Horticulturae. 2021;285:110201. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110201

3. Аминова Е. В., Мережко О. Е. Оценка хозяйственно-биологических признаков малины ремонтантной в условиях Оренбургского Приуралья. Аграрный вестник Урала. 2023;23(8):37–47. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-37-47 EDN: OBPQVN

4. Dale A. Next steps in breeding for yield in raspberries. XII I8 nternational Rubus and Ribes Symposium: Innovative Rubus and Ribes Production for High Quality Berries in Changing. 2019;1277:11–16. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.2

5. Georgieva M., Georgiev D., Hristova D. Correlational interconnections between vegetative and reproductive performances in raspberry cultivar 'Tulameen'. Scientific Papers. Series B. Horticulture. 2023;67(1):91–94. URL: https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art11.pdf

6. Hernández-Bautista A., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J. J., Rocandio-Rodríguez M., Mejía-Contreras J. A., Chávez-Servia J. L., García-Velazquez J. A. Relationship of parental genetic distance with agronomic performance, specific combining ability, and predicted breeding values of raspberry families. Euphytica. 2018;214:37. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-018-2122-6

7. Titirică I., Roman I. A., Nicola C., Sturzeanu M., Iurea E., Botu M., et al. The Main Morphological Characteristics and Chemical Components of Fruits and the Possibilities of Their Improvement in Raspberry Breeding. Horticulturae. 2023;9(1):50. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9010050

8. Зарипова В. М. Фенология сортов малины в условиях лесостепной зоны Башкортостана. Известия Уфимского научного центра РАН. 2023;(3):38–41. DOI: https://doi.org/10.31040/2222-8349-2023-0-3-38-41 EDN: OQHCRF

9. Куликов И. М., Евдокименко С. Н., Тумаева Т. А., Келина А. В., Сазонов Ф. Ф., Андронова Н. В., Подгаецкий М. А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):414–419. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.046 EDN: ASGGAN

10. Ожерельева З. Е., Лупин М. В. Изучение интродуцированных сортов малины в условиях Орловской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022;(2):38–41. DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/2/38-41 EDN: OIIETH

11. Pergolotti V., Patella A., Marcellini M., Raffaelli D., Dradi G., Mazzoni L., Capocasa F., Mezzetti B. A new raspberry (*Rubus idaeus* L.) breeding program for selecting new resilient and high-quality cultivars. XIII International Rubus and Ribes Symposium. 2023;1388:389–396. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1388.57

12. Сазонов Ф. Ф. Оценка сортов смородины черной селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства по статистическим показателям адаптивности. Вестник КрасГАУ. 2024;(11):64–70. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-11-64-70 EDN: CCWZDV

13. González M. D. Heritability of primocane-yield components in red raspberry. Acta Horticulturae: XI International Rubus and Ribes Symposium. 2015;1133:75–80. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1133.12

14. Mladin P., Mladin G., Improvement of raspberry cultivars in Romania. Acta Horticulturae: IX International Rubus and Ribes Symposium. 2005;777:115–119. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.14

15. Radovich A., Aksich M. F., Rakonjac V., Milivojevich J., Nikolich D., Nikolich M. Diversity and relationship of yield components and fruit quality in promising floricane raspberry hybrids. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2013;19:750–755. URL: https://agrojournal.org/19/04-20.pdf

16. Адамень Ф. Ф., Арифова З. И., Арсланова Л. Э. Корреляционный анализ показателей урожайности малины (*Rúbus idáeus* L.) в условиях Республики Крым. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018;(73):9–11. DOI: https://doi.org/10.21515/1999-1703-73-9-11 EDN: YAKQWL

17. Аминова Е. В., Мережко О. Е. Анализ перспективных сортов и форм малины ремонтантного типа плодоношения по комплексу признаков в условиях Оренбургской области. Аграрный научный журнал. 2022;(10):4–9. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp4-9 EDN: HBCTZQ

18. Stephens M. J., Alspach P. A., Beatson R. A., Winefield C., Buck E. J. Genetic Parameters and Breeding for Yield in Red Raspberry. Journal of the American Society for Horticultural Science. Journal of the American Society for Horticultural Science. 2012;137(4):229–235. DOI: https://doi.org/10.21273/JASHS.137.4.229

19. Marchi P. M., Carvalho I. R., Dini M., Szareski V. J., Pelegrin A. D., Pereira I. S., Antunes L. E. C. Canonical correlations among morphological and yield traits in primocane-fruiting raspberries. Genetics and Molecular Research. 2020;19(2):18500. DOI: https://doi.org/10.4238/gmr18500

References

1. Foster T. M., Bassil N. V., Dossett M., Worthington M. L., Graham J. Genetic and genomic resources for Rubus breeding: a roadmap for the future. Horticulture Research. 2019;6:116. DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-019-0199-2

2. Palonen P., Laine T., Mouhu K. Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. Scientia Horticulturae. 2021;285:110201. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110201

3. Aminova E. V., Merezhko O. E. Assessment of economic and biological signs of primocane raspberry in the conditions of the Orenburg Urals. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(8):37–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-37-47

4. Dale A. Next steps in breeding for yield in raspberries. XII I8 nternational Rubus and Ribes Symposium: Innovative Rubus and Ribes Production for High Quality Berries in Changing. 2019;1277:11–16. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.2

5. Georgieva M., Georgiev D., Hristova D. Correlational interconnections between vegetative and reproductive performances in raspberry cultivar 'Tulameen'. Scientific Papers. Series B. Horticulture. 2023;67(1):91–94. URL: https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art11.pdf

6. Hernández-Bautista A., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J. J., Rocandio-Rodríguez M., Mejía-Contreras J. A., Chávez-Servia J. L., García-Velazquez J. A. Relationship of parental genetic distance with agronomic performance, specific combining ability, and predicted breeding values of raspberry families. Euphytica. 2018;214:37. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-018-2122-6

7. Titirică I., Roman I. A., Nicola C., Sturzeanu M., Iurea E., Botu M., et al. The Main Morphological Characteristics and Chemical Components of Fruits and the Possibilities of Their Improvement in Raspberry Breeding. Horticulturae. 2023;9(1):50. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9010050

8. Zaripova V. M. Phenology of raspberry varieties in the conditions of the forest-steppe zone of the republic of Bashkortostan. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre. 2023;(3):38–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31040/2222-8349-2023-0-3-38-41

9. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetskiy M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):414–419. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.046

10. Ozherel'eva Z. E., Lupin M. V. The study of introduced raspberry varieties in the Oryol region conditions. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(2):38–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/2/38-41

11. Pergolotti V., Patella A., Marcellini M., Raffaelli D., Dradi G., Mazzoni L., Capocasa F., Mezzetti B. A new raspberry (*Rubus idaeus* L.) breeding program for selecting new resilient and high-quality cultivars. XIII International Rubus and Ribes Symposium. 2023;1388:389–396. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1388.57

12. Sazonov F. F. Evaluation of black currant breeding cultivars of the FSBSO FSC of Horticulture according to statistical adaptability indicators. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2024;(11):64–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-11-64-70

13. González M. D. Heritability of primocane-yield components in red raspberry. Acta Horticulturae: XI International Rubus and Ribes Symposium. 2015;1133:75–80. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1133.12

14. Mladin P., Mladin G., Improvement of raspberry cultivars in Romania. Acta Horticulturae: IX International Rubus and Ribes Symposium. 2005;777:115–119. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.14

15. Radovich A., Aksich M. F., Rakonjac V., Milivojevich J., Nikolich D., Nikolich M. Diversity and relationship of yield components and fruit quality in promising floricane raspberry hybrids. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2013;19:750–755. URL: https://agrojournal.org/19/04-20.pdf

16. Adamen' F. F., Arifova Z. I., Arslanova L. E. Correlation analysis of indicators of yield of raspberry (*Rubus idaeus* L.) in the republic of Crimea. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(73):9–11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21515/1999-1703-73-9-11

17. Aminova E. V., Merezhko O. E. Analysis of promising varieties and forms of raspberries of the repair type of fruiting by a complex of signs in the conditions of the Orenburg region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(10):4–9. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp4-9

18. Stephens M. J., Alspach P. A., Beatson R. A., Winefield C., Buck E. J. Genetic Parameters and Breeding for Yield in Red Raspberry. Journal of the American Society for Horticultural Science. Journal of the American Society for Horticultural Science. 2012;137(4):229–235. DOI: https://doi.org/10.21273/JASHS.137.4.229

19. Marchi P. M., Carvalho I. R., Dini M., Szareski V. J., Pelegrin A. D., Pereira I. S., Antunes L. E. C. Canonical correlations among morphological and yield traits in primocane-fruiting raspberries. Genetics and Molecular Research. 2020;19(2):18500. DOI: https://doi.org/10.4238/gmr18500

Сведения об авторах

✉ **Подгаецкий Максим Александрович,** кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», ул. Загорьевская, д. 4, г. Москва, Российская Федерация, 115598, e-mail: vstisp@vstisp.org,
ORCID: https://orcid.ru/0000-0002-0289-1092, e-mail: maxpodgai@yandex.ru

Евдокименко Сергей Николаевич, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом генетики и селекции садовых культур, ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», ул. Загорьевская, д. 4, г. Москва, Российская Федерация, 115598,
e-mail: vstisp@vstisp.org, **ORCID: https://orcid.ru/0000-0001-9187-7593**

Information about the authors

✉ **Maxim A. Podgaetsky**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, str. Zagoryevskaya 4, Moscow, Russian Federation, 115598, e-mail: vstisp@vstisp.org,
ORCID: https://orcid.ru/0000-0002-0289-1092, e-mail: maxpodgai@yandex.ru

Sergey N. Evdokimenko, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Genetics and Breeding of Horticultural Crops, Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, str. Zagoryevskaya 4, Moscow, Russian Federation, 115598, e-mail: vstisp@vstisp.org, **ORCID: https://orcid.ru/0000-0001-9187-7593**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.262–273
УДК 631.527:634.725 (470.620)

Номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства

© 2025. Л. В. Багмет[1] ✉, Е. М. Чеботок[2]
[1] *ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*
[2] *ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Создание и обнародование номенклатурных стандартов необходимо для закрепления названия сорта за его внешним видом и, следовательно, определенным набором генетической информации. Согласно Международному кодексу номенклатуры культурных растений (ICNCP) в качестве номенклатурного стандарта назначается гербарный образец сорта. Для официального обнародования номенклатурных стандартов обязательна их публикация с указанием идентификационного номера гербарного образца и ссылки на опубликованные описания сортов. В данной работе обнародованы номенклатурные стандарты 8 сортов крыжовника селекции Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН: 'Авангард', 'Арлекин', 'Берилл', 'Кооператор', 'Сенатор', 'Станичный', 'Уральский Изумруд', 'Шершневский', которые созданы на базе коллекции крыжовника Свердловской селекционной станции садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН и оформлены в соответствии с рекомендациями ICNCP. Гербарный образец номенклатурного стандарта каждого сорта представлен одним гербарным листом, на котором размещены части одного растения, собранные дважды: цветки – в период цветения; плоды и однолетние побеги – в период плодоношения. Гербарные листы дополнены фотографиями цветков и плодов. Номенклатурные стандарты зарегистрированы в базе данных «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR), в Национальный центр генетических ресурсов растений. Созданные номенклатурные стандарты могут быть использованы в качестве носителя подлинности фенотипической информации сорта как селекционного достижения.

Ключевые слова: *Grossularia reclinata (L.) Mill., Южный Урал, гербарный образец, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR), культурная флора, прикладная ботаника*

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 года № 075-02-2024-1090 и Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2021-0008 "Создание конкурентоспособных, высокоурожайных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных культур и картофеля мирового уровня на основе перспективных генетических ресурсов, устойчивых к био- и абиотическим факторам» с использованием уникальной научной установки «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале»).

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследования руководителю Свердловской селекционной станции садоводства Татьяне Николаевне Слепнёвой.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Багмет Л. В., Чеботок Е. М. Номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):262–273. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.262-273

Поступила: 14.02.2025 Принята к публикации: 28.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Nomenclatural standards of gooseberry cultivars bred by the South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing

© 2025. Larisa V. Bagmet[1] ✉, Elena M. Chebotok[2]
[1]*Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russian Federation,*
[2]*Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation*

The creation and promulgation of nomenclatural standards is necessary to fix the name of a cultivar to its appearance and, therefore, to a certain set of genetic information. According to the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants, a herbarium sample of the cultivar must be designated as the nomenclatural standard. For the official promulgation of nomenclatural standards, their publication is necessary, indicating the identification number of the herbarium sample and a link to the published descriptions of the cultivar. In the article there have been published nomenclatural standards of 8 gooseberry

cultivars bred by the South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing: 'Avangard', 'Arlekin', 'Berill', 'Kooperator', 'Senator', 'Stanichny`j', 'Ural`skij Izumrud', 'Shershnevskij'. The nomenclatural standards were created on the basis of the gooseberry collection of the Sverdlovsk Horticultural Breeding Station of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and are designed in accordance with the ICNCP recommendations. The herbarium sample of the nomenclatural standard of each cultivar is represented by one herbarium leaf, which contains parts of one plant collected in two periods: flowers – during flowering; fruits and annual shoots – during fruiting. Herbarium specimens are supplemented with photographs of flowers and fruits. Nomenclatural standards are registered in the VIR Herbarium database and transferred to the standard fund of the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives and Weeds (WIR) and to the National Center for Plant Genetic Resources. The created nomenclatural standards can be used as a carrier of authenticity of the genetic information of the cultivar as a breeding achievement.

Keywords: *Grossularia reclinata* (L.) Mill., The *Southern Ural, herbarium sample, Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives and Weeds (WIR), cultural flora, applied botany*

Acknowledgmenst: the research was carried out as part of the implementation of the Development Program of the National Center for Plant Genetic Resources under the agreement with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated February 15, 2024 No. 075-02-2024-1090 and the state assignment of the Ural Federal Agrarian Research Center UrB of RAS «Creation of competitive, high-yielding cultivars of cereals, legumes, fodder, fruit and berry crops and potatoes of the world level on the basis of promising genetic resources resistant to bio- and abiotic factors» (theme No. 0532-2021-0008).

The authors express their gratitude to Tatyana Nikolaevna Slepneva, Head of the Sverdlovsk Horticultural Breeding Station for her help in the implementation of this work.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Bagmet L. V., Chebotok E. M. Nomenclatural standards of gooseberry cultivars bred by the South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):262–273. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.262-273

Received: 14.02.2025 Accepted for publication: 28.03.2025 Published online: 29.04.2025

В Южно-Уральском научно-исследовательском институте садоводства и картофелеводства (ЮУНИИСК) – филиале ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН» (УрФАНИЦ УрО РАН) исследования по крыжовнику ведутся с начала сороковых годов прошлого века. С 1970-х годов главные направления селекции в условиях Южного Урала – это выведение крупноплодных сортов крыжовника со слабой шиповатостью побегов, десертным вкусом плодов и повышенной устойчивостью к сферотеке. Основную селекционную работу проводил Владимир Сергеевич Ильин, за более чем 50-летний период он создал 26 сортов крыжовника, выделил 17 доноров и 15 источников адаптивно-значимых и хозяйственно ценных признаков. Были получены сорта с десертным вкусом и максимальной массой ягод (10 г и более): 'Авангард', 'Берилл', 'Ковчег', 'Кооператор', 'Станичный', 'Уральский Розовый', 'Уральский Изумруд'; с почти полным отсутствием шипов на побегах и повышенной устойчивостью к сферотеке: 'Айсберг', 'Владил', 'Ковчег', 'Скромный', 'Сахарный'; сорта с абсолютной устойчивостью к сферотеке: 'Арлекин', 'Владил', 'Кооператор', 'Сенатор', 'Челябинский Слабошиповатый' [1]. Созданные В. С. Ильиным сорта широко используются как в промышленном и любительском садоводстве, так и в селекционной работе как доноры и источники ценных хозяйственно-биологических признаков.

В настоящее время особую актуальность приобретает правильное документирование селекционных достижений, важнейшей составной частью которого являются номенклатурные стандарты [2, 3, 4].

Цель исследования − создание номенклатурных стандартов сортов крыжовника селекции Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства (ЮУНИИСК).

Научная новизна – впервые в России созданы номенклатурные стандарты сортов крыжовника 'Авангард', 'Арлекин', 'Берилл', 'Кооператор', 'Сенатор', 'Станичный', 'Уральский Изумруд', 'Шершневский', которые могут выступать в качестве документов, подтверждающих подлинность каждого сорта.

Материал и методы. Материалом для исследования послужила коллекция крыжовника Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразделения Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН) и Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений ВИР (WIR). Для создания номенклатурных стандартов были выбраны имеющиеся в коллекции станции сорта крыжовника селекции ЮУНИИСК. Растительный материал собирали в фазе цветения и плодоношения в мае и июле 2024 г. согласно методике ВИР [5] при участии эксперта − куратора коллекции крыжовника Н. С. Евтушенко.

Для гербария выбирали растения, у которых наиболее выражены таксономические признаки сорта. Оценку морфологических и хозяйственных признаков сортов проводили согласно методике RTG/0051/2[1] на отличимость, однородность и стабильность для крыжовника и классификатору ВИР [6], сравнивали их с опубликованными описаниями исследуемых сортов [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Оформление номенклатурных стандартов проведено в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) и протоколу, разработанному в ВИР [4]. Каждый гербарный образец содержит фото цветков и плодов, заверен подписью эксперта, подтверждающего аутентичность представленного растения (Е. М. Чеботок).

Результаты и их обсуждение. В результате проведённого исследования в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений переданы номенклатурные стандарты 8 сортов крыжовника, выведенных на базе коллекции ЮУНИИСК. Основные помологические характеристики сортов представлены в виде таблиц (табл. 1, 2).

Сорт ‘Авангард’– cultivar ‘Avangard’. Включен в «Государственный реестр селекционных достижений…»[2] (далее – Госреестр) и допущен к использованию по Уральскому региону в 2021 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от опыления сорта ‘Слава Никольска’ смесью пыльцы сортов ‘Слабошиповатый 2’ и ‘Африканец’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108814)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from pollination of the ‘Slava Nikolska’ cultivar with a mixture of pollen of the ‘Slaboshipovaty 2’ and ‘Afrikanets’ cultivars. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108814)** (рис. 1).

Сорт ‘Арлекин’– cultivar ‘Arlekin’. Включен в Госреестр и допущен к использованию по Уральскому и Западно-Сибирскому регионам в 1995 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от скрещивания сортов ‘Челябинский Зеленый’ и ‘Африканец’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108815)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from crossing the cultivars ‘Chelyabinskij Zeleny`j’ and ‘Afrikanets’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers), L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots), E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108815)** (рис. 2).

Сорт ‘Берилл’– cultivar ‘Berill’. Включен в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Западно-Сибирскому региону в 1998 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Авторы: В. И. Путятин, В. С. Ильин. Получен от скрещивания сортов ‘Малахит’ и ‘Самородок’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108816)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Authors: V. I. Putyatin and V. S. Il`in. It was obtained from crossing the cultivars ‘Malakhit’ and ‘Samorodok’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determi-nators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108816)** (рис. 3).

[1]Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Крыжовник (*Ribes uva-crispa* L.). Методики испытаний на ООС.
URL: https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php?ysclid=m413ei6mks543783212

[2]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/ (дата обращения: 30.01.2025).

Таблица 1 – **Основные помологические признаки сортов крыжовника ‘Авангард’, ‘Арлекин’, ‘Берилл’, ‘Кооператор’**
Table 1 – **The main pomological characteristics of black currant cultivars ‘Avangard’, ‘Arlekin’, ‘Berill’, ‘Kooperator’**

Признак / Characteristics	*‘Авангард’ / ‘Avangard’*	*‘Арлекин’ / ‘Arlekin’*	*‘Берилл’ / ‘Berill’*	*‘Кооператор’ / ‘Kooperator’*
1	2	3	4	5
Высота куста / Height	Сильнорослый / High- sized	Среднерослый / Medium-sized		
Габитус куста / Growth habit	Полураскидистый / Semispreading			Слабораскидистый / Low-spreading
Число основных побегов / Number of basal shoots	Среднее количество (10) / Average number (10)		Много (15) / Many (15)	
Побеги / Shoots	Тонкие, прямые, буро-красные в верхней трети / Thin, straight, brownish-red in the upper third	Средней толщины, прямые, светло-зеленые / Medium-thick, straight, light green	Средней толщины, изогнутые, с антоциановой окраской и свешивающей верхушкой / Medium-thick, curved, with anthocyanin coloring and drooping tip	Средней толщины, слегка изогнутые, светло-зеленые, в нижней части с розовым «загаром» / Medium-thick, little curved, light green, with a pink tan at the bottom
Шипы / Thorns	Одиночные, короткие, средней толщины, перпендикулярно побегу / Single, short, medium-thick, perpendicular to the shoot	Одиночные, короткие, тонкие, направлены вниз / Single, short, thin, pointing downwards	Одиночные, тонкие, слабые, направлены вниз / Single, thin, weak, pointing downwards	Одиночные, средней длины и толщины, направлены слегка вниз / Single, average long and thickness, pointing little downwards
Лист / Leaf	Трехлопастный, мелкий, светло-зеленый / Three-lobed, small, light green	Пяти-четырехлопастный, крупный, зеленый / Four- or five-lobed, large, green	Пятилопастный, крупный, зеленый / Five-lobed, large, green	Пятилопастный, крупный и средний, зеленый / Five-lobed, large or average, green
Листовая пластинка / Leaf blade	Вогнутая, мягкая, лопасти тупые со средними по глубине вырезами / Concave, soft, lobes are blunt with average deep cutouts	Слабо вогнутая, мягкая, лопасти округлые / Slightly concave, soft, rounded lobes	Вогнута по средней жилке, мягкая, лопасти с глубокими вырезами / Concave on middle vein, soft, lobes with deep cutouts	Слабо сложена по средней жилке, средней плотности, лопасти заостренные / Weakly folded along medium vein, of average density, the lobes are pointed
Основание листовой пластинки / Leaf blade: base	С глубокой выемкой / With a deep recess	С очень мелкой выемкой / With a very shallow recess	Со средней выемкой / With an average recess	С мелкой выемкой / With a shallow recess
Зубчики листовой пластинки / Denticles of leaf blade	Короткие, острые, неподогнутые / Short, sharp, not bent	Короткие, тупые, неподогнутые / Short, blunt, not bent	Крупные, слегка подогнутые / Large, slightly bent	Средние, заостренные, неподогнутые / Average, pointed, not bent
Черешок листа / Leafstalk	Длинный, средней толщины, зеленый / Long, medium-thick, green	Длинный, средней толщины, светло-зеленый / Long, medium-thick, light green	Средней длины и толщины, светло-зеленый / Average long and thickness, light green	
Цветки / Flowers	Средней величины, бледно окрашенные; соцветия 2-цветковые / Average size, pale colored; inflorescences are 2-flowered	Мелкие, ярко окрашенные, соцветия 2-3-цветковые / Small, brightly colored; inflorescences are 2-3-flowered	Крупные, ярко окрашенные, соцветия 2-цветковые / Large, brightly colored; inflorescences are 2-flowered	Средней величины и мелкие, желтовато-зеленые, соцветия 2-3-цветковые / Average size and small, yellowish-green; inflorescences are 2-3-flowered

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Размер ягод / Berry: size	Средняя масса 3,3 г, максимальная 6,5 г / Average berry weight 3.3 g, max 6.5 g	Средняя масса 3,0 г, максимальная 6,5 г / Average berry weight 3.0 g, max 6.5 g	Средняя массой 3,9 г, максимальная 9,2 г / Average berry weight 3.9 g, max 9.2 g	Средняя масса 3,6 г, максимальная 8,0 г / Average berry weight 3.6 g, max 8.0 g
Одномерность ягод / One-dimensionality of berries	Высокая / High		Средняя / Average	Высокая / High
Окраска и форма ягод / Berry: color, shape	Темно-красные, овальные / Dark red, oval	Темно-вишневые, округло-овальные / Dark cherry, rounded-oval	Светло-зеленые, округло-овальные / Light green, rounded-oval	Темно-вишневые, грушевидные / Dark cherry, pyriform
Кожица ягоды / Berry skin	Средней толщины, без опушения / Medium-thick, without pubescence		Тонкая, без опушения / Thin, without pubescence	Средней толщины, без опушения / Medium-thick, without pubescence
Чашечка / Calyx	Открытая / Opened		Открытая или закрытая / Opened or closed	Открытая / Opened
Вкус ягод / Berry taste	Сладко-кислый нежный / Sweet sour delicate	Приятный кисло-сладкий / Pleasant sweet sour	Десертный кисло-сладкий / Dessert sweet sour	Приятный кисло-сладкий / Pleasant sweet sour
Зимостойкость / Winter hardiness	Высокая / Highly resistant			
Устойчивость к вредителям и болезням / Resistance to diseases and pests	Устойчив к мучнистой росе, антракнозу; слабо поражается септориозом, пилильщиком / Resistant to powdery mildew and anthracnose; weakly affected by septoria, sawfly	Устойчив к мучнистой росе / Resistant to powdery mildew	В отдельные годы может поражаться мучнистой росой / In some years may be affected by powdery mildew	Устойчив к мучнистой росе; слабо поражается антракнозом, пилильщиком; среднеустойчив к септориозу / Resistant to powdery mildew; weakly affected by anthracnose, sawfly; medium-resistant to septoria
Урожайность / Yield	До 31,7 т/га / Up to 31.7 t/ha	До 20,0 т/га / Up to 20.0 t/ha	До 33,3 т/га / Up to 33.3 t/ha	До 23,0 т/га / Up to 23.0 t/ha
Самоплодность / Self-fertility	Хорошая (41,3 %) / Good (41.3 %)	Хорошая (38,9 %) / Good (38.9 %)	Хорошая (53,8 %) / Good (53.8 %)	Хорошая (42,4 %) / Good (42.4 %)
Назначение / Commercial use	Универсальный / Multipurpose			

Таблица 2 – **Основные помологические признаки сортов крыжовника ‘Сенатор’, ‘Станичный’, ‘Уральский Изумруд’, ‘Шершневский’ /**
Table 2 – **The main pomological characteristics of black currant cultivars ‘Senator’, ‘Stanichny`j’, ‘Ural`skij Izumrud’, Shershnevskij’**

Признак / Characteristics	*‘Сенатор’ / ‘Senator’*	*‘Станичный’ / ‘Stanichny`j’*	*‘Уральский Изумруд’ / ‘Ural`skij Izumrud’*	*‘Шершневский’ / Shershnevskij’*
1	2	3	4	5
Высота куста / Height	Сильнорослый / High-sized		Среднерослый / Medium-sized	Сильнорослый / High- sized
Габитус куста / Growth habit	Полураскидистый / Semispreading		Слабораскидистый / Low-spreading	Полураскидистый / Semispreading
Число основных побегов / Number of basal shoots	Много (15) / Many (15)			Среднее количество (10) / Average number (10)
Побеги / Shoots	Средней толщины, прямые или слегка изогнутые, зеленые или с коричнево-розоватым оттенком внизу / Medium-thick, straight or little curved, green or with a brownish-pinkish tan at the bottom	Средней толщины, слегка изогнутые, зеленые / Medium-thick, little curved, light green	Толстые, прямые, зеленые, верхушка с антоциановой окраской / Thick, straight, green, top with anthocyanin coloring	Средней толщины, прямые, зеленые, в верхней части фиолетовые / Medium-thick, straight, green, purple at the upper part
Шипы / Thorns	Одиночные, слабые, перпендикулярны побегу / Single, weak, perpendicular to the shoot	Длинные, средней толщины, одиночные, реже двойные и тройные / Long, medium-thick, single, less often double and triple	Прямые, по всей длине побега, перпендикулярны ему / Straight, along the entire length of the shoot perpendicular to it	Одиночные, реже двойные, длинные, средние по толщине, перпендикулярны побегу / Single, rarely double, long, medium-thick, perpendicular to the shoot
Лист / Leaf	Пятилопастный, средний, зеленый / Five-lobed, average, green	Пятилопастный, средний, темно-зеленый / Five-lobed, average, dark green	Пятилопастный, разного размера, темно-зеленый / Five-lobed, different sizes, dark green	Пятилопастный, средний, темно-зеленый / Five-lobed, average, dark green
Листовая пластинка / Leaf blade	Прямая, морщинистая, средней плотности, края подогнуты, средняя лопасть превышает боковые / Straight, wrinkled, of average density, the edges are bent, the middle lobe exceeds the lateral	Вогнута по средней жилке, кожистая, морщинистая, лопасти округлые, средняя превышает боковые / Concave on middle vein, leathery, wrinkled, rounded lobes, middle one exceeds lateral ones	Вогнута по средней жилке, морщинистая, лопасти тупые, средняя превышает боковые / Concave on middle vein, wrinkled, lobes are blunt, middle one exceeds lateral ones	Вогнута по средней жилке, средней плотности, лопасти заостренные, средняя не превышает боковые / Concave on middle vein, of average density, lobes are pointed, middle one not exceeds lateral ones
Основание листовой пластинки / Leaf blade: base	С мелкой выемкой / With a shallow recess	Со средней выемкой / With an average recess		С глубокой выемкой / With a deep recess
Зубчики листовой пластинки / Denticles of leaf blade	Неравномерные, тупые / Uneven, blunt	Крупные, тупые, неподогнутые / Large, blunt, not bent	Короткие, острые, слегка подогнутые / Short, sharp, little bent	Короткие, тупые, неподогнутые / Short, blunt, not bent
Черешок листа / Leafstalk	Длинный, тонкий, светло-зеленый / Long, thin, light green	Средней длины и толщины, светло-зеленый / Average long and thickness, light green	Длинный, тонкий, зеленый / Long, thin, green	Средней длины и толщины, зеленый / Average long and thickness, green

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
Цветки / Flowers	Мелкие, ярко окрашенные; соцветия 1-2-цветковые / Small, brightly colored; inflorescences are 1-2-flowered	Средней величины, бледные; соцветия 1-2-цветковые / Average size, pale colored; inflorescences are 1-2-flowered	Крупные, ярко окрашенные; соцветия одноцветковые / Large, brightly colored; inflorescences are 1-flowered	Средней величины, бледные; соцветия 2-цветковые/ Average size, pale colored; inflorescences are 2-flowered
Размер ягод / Berry: size	Средняя масса 2,6 г, максимальная 6,3 г / Average berry weight 2.6 g, max 6.3 g	Средняя масса 4,0 г, максимальная 9,5 г / Average berry weight 4.0 g, max 9.5 g	Средняя масса 4,0 г, максимальная 7,5 г / Average berry weight 4.0 g, max 7.5 g	Средняя масса 3,4 г, максимальная 6,0 г / Average berry weight 3.4 g, max 6.0 g
Одномерность ягод / One-dimensionality of berries	Высокая / High	Средняя / Average	Высокая / High	
Окраска и форма ягод / Berry: color, shape	Темно-красные, овальные / Dark red, oval	Розовые, овально-округлые / Pink, oval-rounded	Зеленые, округло-овальные / Green, rounded-oval	Темно-розовые и красные, округлые / Dark pink and red, rounded
Кожица ягоды / Berry skin	Тонкая, без опушения / Thin, without pubescence			Средней толщины или толстая, без опушения / Medium-thick or thick, without pubescence
Чашечка / Calyx	Закрытая / Closed		Полуоткрытая / Half-open	Открытая / Opened
Вкус ягод / Berry taste	Приятный кисло-сладкий / Pleasant sweet sour		Отличный кисло-сладкий и сладкий / Excellent sweet and sour and sweet	Приятный кисло-сладкий и сладкий, нежный / Pleasant sweet sour and sweet, delicate
Зимостойкость / Winter hardiness	Высокая / Highly resistant			
Устойчивость к вредителям и болезням / Resistance to diseases and pests	Устойчив к мучнистой росе / Resistant to powdery mildew	Слабо поражается мучнистой росой / Weakly affected by powdery mildew	Слабо поражается мучнистой росой, антракнозом, огневкой, пилильщиком / Weakly affect-ted by powdery mildew, anthracnose, gooseberry fruitworm, sawfly	Слабо поражается мучнистой росой, антракнозом, пилильщиком / Weakly affected by powdery mildew, anthracnose, sawfly
Урожайность / Yield	До 20,0 т/га / Up to 20.0 t/ha	До 11,0 т/га / Up to 11.0 t/ha	До 18,6 т/га / Up to 18.6 t/ha	До 25,3 т/га / Up to 25.3 t/ha
Самоплодность / Self-fertility	Хорошая (44,7 %) / Good (44.7 %)	Хорошая (38,9 %) / Good (38.9 %)	Хорошая / Good	Хорошая (40,4 %) / Good (40.4 %)
Назначение / Commercial use	Универсальный / Multipurpose			

Рис. 1. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Авангард' /**
Fig. 1. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Avangard'**

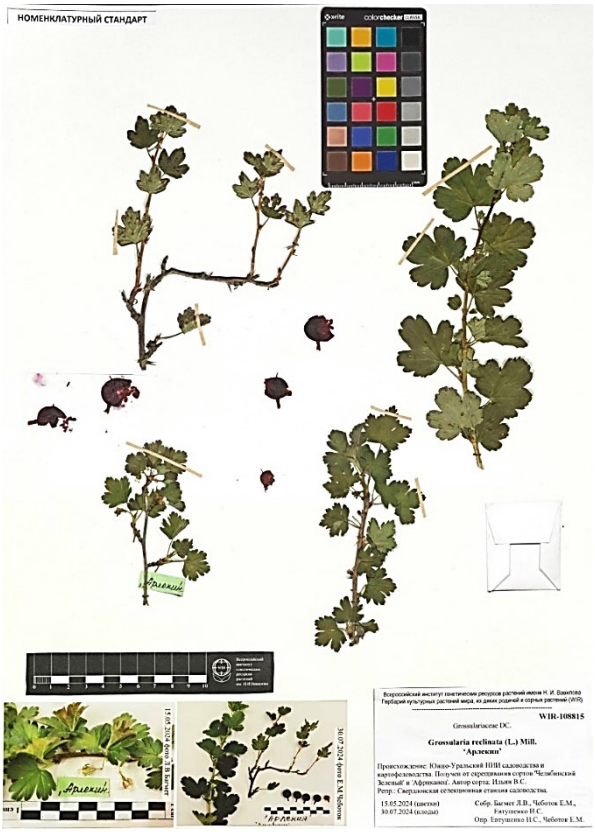


Рис. 2. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Арлекин' /**
Fig. 2. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Arlekin'**

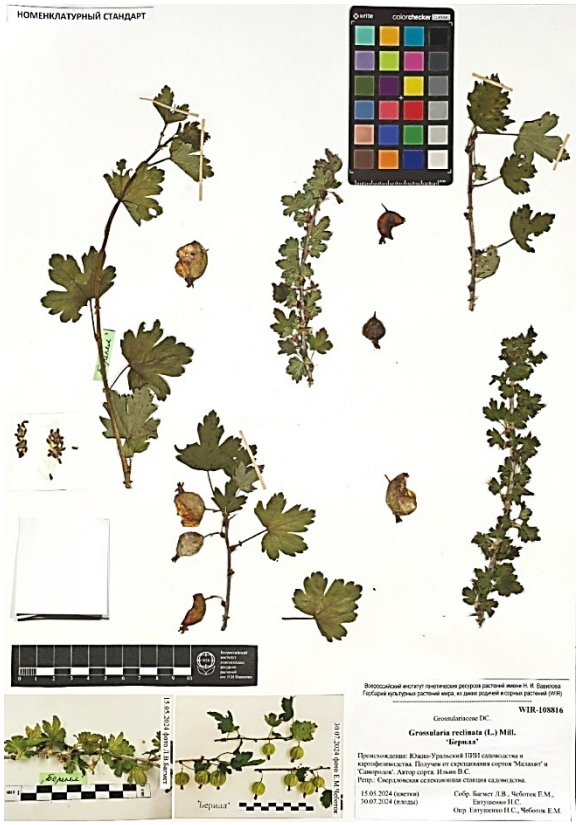


Рис. 3. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Берилл' /**
Fig. 3. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Berill'**

Рис. 4. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Кооператор' /**
Fig. 4. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Kooperator'**

Сорт ‘Кооператор’– cultivar ‘Kooperator’. Включен в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Уральскому и Западно-Сибирскому регионам в 1999 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от скрещивания сортов ‘Смена’ и ‘Челябинский Зеленый’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108817)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from crossing the cultivars ‘Smena’ and ‘Chelyabinskij Zeleny`j’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108817)** (рис. 4).

Сорт ‘Сенатор’ – cultivar ‘Senator’. Включен в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Волго-Вятскому, Уральскому, Западно-Сибирскому и Дальневосточному регионам в 1995 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от скрещивания сортов ‘Челябинский Зеленый’ и ‘Африканец’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108819)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from crossing the cultivars ‘Chelyabinskij Zeleny`j’ and ‘Afrikanets’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers), L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots), E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108819)** (рис. 5).

Сорт ‘Станичный’– cultivar ‘Stanichny`j’. Включен в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Волго-Вятскому и Уральскому регионам с 1995 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от опыления сорта ‘Челябинский Розовый’ смесью пыльцы сортов ‘Смена’ и ‘Русский’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 29.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108821)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from pollination of the ‘Chelyabinskij Rozovy`j’ cultivar with a mixture of pollen of the ‘Smena’ and ‘Russkij’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 29.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108821)** (рис. 6)**.**

Сорт ‘Уральский Изумруд’– cultivar ‘Ural`skij Izumrud’. Включен в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам в 2000 г.

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от скрещивания сортов ‘Самородок’ и ‘Первенец Минусинска’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 30.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок **(WIR-108822)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from crossing the cultivars ‘Samorodok’ and ‘Pervenets Minusinska’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 30.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108822)** (рис. 7).

Сорт ‘Шершневский’ – cultivar ‘Shershnevskij’. Включен Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию по Средневолжскому, Уральскому, Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам в 2006 г.

Рис. 5. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Сенатор' /**
Fig. 5. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Senator'**

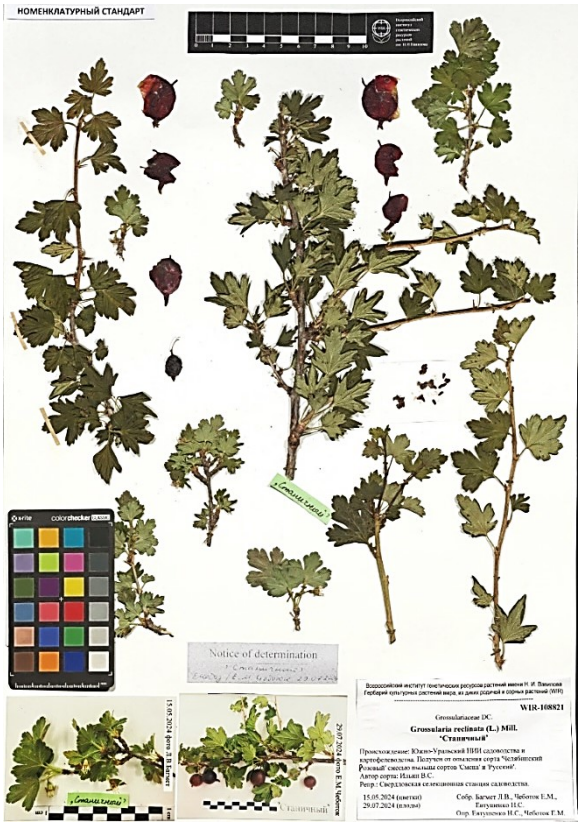


Рис. 6. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Станичный' /**
Fig. 6. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Stanichny`j'**

Рис. 7. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Уральский Изумруд' /**
Fig. 7. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Ural`skij Izumrud'**

Рис. 8. **Номенклатурный стандарт крыжовника 'Шершневский' /**
Fig. 8. **Nomenclatural standard of gooseberry 'Shershnevskij'**

Nomenclatural standard: Происхождение: Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства. Автор: В. С. Ильин. Получен от опыления сорта ‘Сеянец Лефора’ смесью пыльцы сортов ‘Африканец’ и ‘Слабошиповатый 2’. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 15.05.2024 (цветки) Л. В. Багмет, Н. С. Евтушенко; 29.07.2024 (плоды, однолетние побеги) Е. М. Чеботок. Определили: Н. С. Евтушенко, Е. М. Чеботок. **(WIR-108823)** / Origin: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. Author: V. S. Il`in. It was obtained from pollination of the ‘Seyanecz Lefora’ cultivar with a mixture of pollen of the ‘Afrikanets’ and ‘Slaboshipovaty 2’. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 15.05.2024 (flowers) L. V. Bagmet, N. S. Evtushenko; 29.07.2024 (fruit, annual shoots) E. M. Chebotok. Determinators: N. S. Evtushenko, E. M. Chebotok **(WIR-108823)** (рис. 8).

В настоящее время проводятся исследования по разработке методов ДНК-идентификации сортов крыжовника на основе использования высокоинформативных SSR-маркеров, [13, 14, 15, 16]. В перспективе портфолио номенклатурных стандартов могут быть пополнены генетическими паспортами этих сортов.

Заключение. В публикации обнародованы номенклатурные стандарты 8 сортов крыжовника селекции Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. В результате проведённого исследования загербаризированы, оформлены, зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) 8 образцов номенклатурных стандартов в количестве 8 гербарных листов: ‘Авангард’ (WIR-108814), ‘Арлекин’ (WIR-108815), ‘Берилл’ (WIR-108816), ‘Кооператор’ (WIR-108817), ‘Сенатор’ (WIR-108819), ‘Станичный’ (WIR-108821), ‘Уральский Изумруд’ (WIR-10822), ‘Шершневский’ (WIR-108823). Цифровое изображение номенклатурных стандартов доступно на сайте ВИР.

Список литературы

1. Ильин В. С. 44 года работы с крыжовником на Южном Урале. Плодоводство и ягодоводство России. 2015;41:151–154. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=23589170 EDN: TWFGFR

2. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1–27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

3. Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть III–VI, Приложение I–IX. Перевод с англ. И. Г. Чухина, С. Р. Мифтахова, В. И. Дорофеев. Vavilovia. 2022;5(1):41–70. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2022-1-41-70 EDN: MWMHVV

4. Гавриленко Т. А., Чухина И. Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. Биотехнология и селекция растений. 2020;3(3):6–17. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o2 EDN: WERDAW

5. Белозор Н. И. Гербаризация культурных растений: методические указания. Л.: ВИР, 1989. 55 с.

6. Володина Е. В. Классификатор рода *Grossularia* (Tourn) Mill – крыжовник. Под ред. В. А. Корнейчук. Л.: ВИР, 1980. 41 с.

7. Ильин В. С. Устойчивые к антракнозу сорта крыжовника. Защита и карантин растений. 2014;(12):36–37. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22539800 EDN: SZGEZV

8. Ильин В. С. Итоги селекции крыжовника на Южном Урале. Плодоводство и ягодоводство России. 2014;40(2):134–138. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22627688 EDN: TBEFCX

9. Ильин В. С. Слабошиповатые и устойчивые к американской мучнистой росе сорта крыжовника южно-уральской селекции. Садоводство и виноградарство. 2016;(5):37–42. DOI: https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.5.3447 EDN: WWRNLT

10. Евтушенко Н. С. Оценка сортов крыжовника на адаптивность в условиях Среднего Урала. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021;(10):12–18. DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-204-10-12-18 EDN: IOXGGI

11. Васильев А. А., Гасымов Ф. М., Глаз Н. В. Экологическая оценка сортов крыжовника челябинской селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):132–136. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-132-136 EDN: WBBADO

12. Макаренко С. А., Савин Е. З., Ильин В. С., Котов Л. А., Слепнева Т. Н., Чеботок Е. М., и др. Помология Урала: сорта плодовых, ягодных культур и винограда. М.: Наука, 2022. С. 288–310.

13. Межнина О. А. Урбанович О. Ю. Анализ вариабельности микросателлитных локусов у представителей рода смородины *Ribes* L., выращиваемых в Беларуси. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2017;(3):45–54. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29924074 EDN: ZEVNVF

14. Vidyagina E. O., Lebedev V. G., Subbotina N. M., Treschevskaya E. I., Lebedeva T. N., Shestibratov K. A. The Development of the Genic SSR Markers for Analysis of Genetic Diversity in Gooseberry Cultivars. Agronomy. 2021;11(6):1050. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11061050

15. Nordlander J., Skytte af Sätra J., Mattisson H., Udovychenko K., Lushpigan O., Lose L., et al. Genetic diversity in gooseberry (*Ribes uva-crispa*), as estimated with SSR markers. Scientia Horticulturae. 2022;306:111438. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111438

16. Sun X., Zhan Y., Li S., Liu Y., Fu Q., Quan X., et al. Complete chloroplast genome assembly and phylogenetic analysis of blackcurrant (*Ribes nigrum*), red and white currant (*Ribes rubrum*), and gooseberry (*Ribes uva-crispa*) provide new insights into the phylogeny of Grossulariaceae. PeerJ. 2023;11:e16272. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.16272

Reference

1. Ilyin V. S. 44 years of work with gooseberry at South Urals. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia**.** 2015;41:151–154. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23589170

2. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1–27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

3. International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division III–VI, Appendix I–IX. Translated from English by I. G. Chukhin, S. R. Miftakhov, V. I. Dorofeev Vavilovia. 2022;5(1):41–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2022-1-41-70

4. Gavrilenko T. A., Chukhina I. G. Nomenclatural standards of modern russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): a new approach to cultivar genepool registration in a genebank. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(3):6–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o2

5. Belozor N. I. Herbarization of cultivated plants: guidelines. Leningrad: *VIR*, 1989. 55 p.

6. Volodina E. V. Classifier of the genus *Grossularia* (Tourn) Mill – gooseberry. *Pod red.* V. A. Korneychuk. Leningrad: *VIR*, 1980. 41 p.

7. Ilyin V. S. Gooseberry varieties resistant to anthracnose. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(12):36–37. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22539800

8. Ilyin V. S. Results of breeding of gooseberry in the South Ural. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia**.** 2014;40(2):134–138. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22627688

9. Ilyin V. S. Thornless and resistant to american powdery mildew gooseberry varieties of southern Urals breeding. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2016;(5):37–42. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.5.3447

10. Evtushenko N. S. Evaluation of some gooseberry varieties regarding adaptability in the Middle Urals. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021;(10):12–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-204-10-12-18

11. Vasiliev A. A., Gasymov F. M., Glaz N. V. Environmental assessment of gooseberry cultivars developed in chelyabinsk province. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):132–136. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-132-136

12. Makarenko S. A., Savin E. Z., Ilyin V. S., Kotov L. A., Slepneva T. N., Chebotok E. M., et al. Pomology of the Urals: cultivars of fruit, berry crops and grapes. Moscow: *Nauka*, 2022. pp. 288–310.

13. Mezhnina O. A. Urbanovich O. Yu. Analysis of microsatellite loci variability *Ribes* L. representatives grown in Belarus. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series. 2017;(3):45–54. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29924074

14. Vidyagina E. O., Lebedev V. G., Subbotina N. M., Treschevskaya E. I., Lebedeva T. N., Shestibratov K. A. The Development of the Genic SSR Markers for Analysis of Genetic Diversity in Gooseberry Cultivars. Agronomy. 2021;11(6):1050. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11061050

15. Nordlander J., Skytte af Sätra J., Mattisson H., Udovychenko K., Lushpigan O., Lose L., et al. Genetic diversity in gooseberry (*Ribes uva-crispa*), as estimated with SSR markers. Scientia Horticulturae. 2022;306:111438. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111438

16. Sun X., Zhan Y., Li S., Liu Y., Fu Q., Quan X., et al. Complete chloroplast genome assembly and phylogenetic analysis of blackcurrant (*Ribes nigrum*), red and white currant (*Ribes rubrum*), and gooseberry (*Ribes uva-crispa*) provide new insights into the phylogeny of Grossulariaceae. PeerJ. 2023;11:e16272. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.16272

Сведения об авторах

✉ **Багмет Лариса Владимировна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, отдел агроботаники и сохранения *in situ* генетических ресурсов растений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Б. Морская, 42, 44, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0768-0056**, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Чеботок Елена Михайловна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5942-6178**

Information about the authors

✉ **Larisa V. Bagmet**, PhD in Biological Science, leading researcher, the Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0768-0056**, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Elena M. Chebotok, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Belinsky Street, g. 112a, Ekaterinburg, Russian Federation, 620076, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5942-6178**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.274–285
УДК 635.925:581.192.2

Влияние некорневых обработок оксидом кремния на состояние побегов розы *Fancy Babylon Eyes* в предзимний период

© 2025. О. А. Ардашева[1]✉, А. В. Федоров[2], К. С. Сергеева[3]
[1]*ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация,*
[2]*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация,*
[3]*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Российская Федерация*

Декоративное озеленение играет ключевую роль в ландшафтном дизайне. Благоустройство территории городов с посадкой непривычных для северных широт декоративных растений, таких как садовые розы, направлено на создание максимально комфортных условий среды пребывания человека. Однако интродукция роз в Удмуртской Республике ограничивается низкими зимними температурами. Актуальным является вопрос изучения биохимических механизмов защиты растений от низких температур и возможности усиления этой защиты с помощью химической обработки, в частности, кремнийсодержащими препаратами. Цель исследований – изучение влияния водного раствора оксида кремния (IV) в различных концентрациях (0,002; 0,004; 0,006; 0,008 %) на структурно-функциональные особенности и устойчивость розы Fancy Babylon Eyes к низким температурам среды. Для этого применяли ежегодную трехкратную (май-июнь-июль) некорневую обработку растений раствором оксида кремния в течение 2019–2021 гг. (контроль – обработка дистиллированной водой). Исследовали рост и развитие растений в вегетационный период, толщину эпидермиса, содержание крахмала и липидов в стеблях в предзимний период. Под влиянием некорневых обработок наблюдали тенденцию к увеличению высоты кустов и количества побегов. При гистохимическом исследовании обнаружено статистически значимое утолщение эпидермиса при обработке раствором всех изучаемых концентраций, максимальное (на 35,8 и 49,4 %) – при 0,006 и 0,008 %. Увеличение липидов в стеблях роз отмечали только при обработке 0,002%-ным раствором оксида кремния. С целью повышения зимостойкости кустов роз рекомендуется использовать водный раствор оксида кремния (IV) в концентрациях 0,006 и 0,008 %, применяя ежегодную трехкратную некорневую обработку.

Ключевые слова: *зимостойкость, гистохимические методы, интродукция растений, оксид кремния, крахмал, липиды, садовые розы*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (№ проекта FUUE-2022-0017, рег. № ЕГИСУ НИОКТР 122040700023-7).

Авторы благодарят А. А. Шахова, старшего научного сотрудника лаборатории механоактивации органических систем Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН, за предоставленный для исследования раствор оксида кремния (IV).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ардашева О. А., Федоров А. В., Сергеева К. С. Влияние некорневых обработок оксидом кремния на состояние побегов розы *Fancy Babylon Eyes* в предзимний период. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):274–285. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.274-285

Поступила: 18.09.2023 Принята к публикации: 24.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The effect of non-root silicon oxide treatments on the condition of *Fancy Babylon Eyes* rose shoots in the pre-winter period

© 2025. Olga A. Ardasheva[1]✉, Alexander V. Fedorov[2], Ksenia S. Sergeeva[3]
[1]*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation,*
[2]*Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russian Federation,*
[3]*Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation*

Decorative landscaping plays a key role in landscape design. The improvement of urban areas with the planting of decorative plants unusual for northern latitudes, such as garden roses, is aimed at creating the most comfortable conditions for human habitation. However, the introduction of roses in the Udmurt Republic is limited by low winter temperatures. The issue of studying the biochemical mechanisms of plant protection from low temperatures and the possibility of enhancing this protection with the help of chemical treatment, in particular, with silicon-containing preparations, is relevant. The aim of the research is to study the effect of an aqueous solution of silicon (IV) oxide in various concentrations (0.002; 0.004; 0.006; 0.008 %) the structural and functional features and resistance of the Fancy Babylon Eyes rose to low ambient temperatures.

For this purpose, annual three-fold (May-June-July) foliar treatment of plants with silicon oxide solution was used during 2019–2021. (control – distilled water treatment). The growth and development of plants during the growing season, the thickness of the epidermis, the content of starch and lipids in the stems in the pre-winter period were studied. Under the influence of non-root treatments, there was a tendency to increase the height of bushes and the number of shoots. Histochemical examination revealed a statistically significant thickening of the epidermis during treatment with all concentrations of the solution, the maximum (by 35.8 and 49.4 %) at concentrations of 0.006 and 0.008 %. An increase in lipids in rose stems was noted only when treated with 0.002 % silicon oxide solution. In order to increase the winter hardiness of rose bushes an aqueous solution of silicon (IV) oxide in concentrations of 0.006 and 0.008% using an annual three-fold foliar treatment should be applied.

Keywords: *winter hardiness, histochemical methods, plant introduction, silicon oxide, starch, lipids, garden roses*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (reg. No. EGISU R&D 122040700023-7, project number FUUE-2022-0017).

The authors thank A. A. Shakhov, senior researcher at the Laboratory of Mechanoactivation of Organic Systems (UdmFIC Institute of Physics and Technology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) for the silicon (IV) oxide solution provided for the study.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Ardasheva O. A., Fedorov A. V., Sergeeva K. S. The effect of non-root silicon oxide treatments on the condition of *Fancy Babylon Eyes* rose shoots in the pre-winter period. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):274–285. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.274-285

Received: 18.09.2023 Accepted for publication: 24.03.2025 Published online: 29.04.2025

Род *Rosa* L. в системе цветковых растений относится к семейству *Rosaceae* A. L. de Jussieu [1].

В условиях умеренно-континентальной зоны очень важно выведение сортов с высокой зимостойкостью, чтобы растение прекратило цветение вовремя и приостановило свой рост для повышения зимостойкости и вызревания древесины [2, 3, 4]. Одним из решающих факторов зимостойкости является накопление в предзимний период защитных веществ, к которым относятся углеводы и липиды. В течение предзимнего и зимнего периодов они не сохраняются в одном и том же состоянии и количестве, происходит их превращение и перераспределение в тканях [5]. Поэтому важно знать морфологические, анатомические и гистохимические характеристики побегов для изучения адаптивного процесса и оценки адаптации сортов роз в различных климатических условиях.

В Удмуртской Республике проблема повышения зимостойкости современных сортов роз особенно актуальна в связи с ее умеренно-континентальным климатом, который характеризуется достаточно морозной зимой. Анализ литературных данных [5, 6] показывает, что морозостойкость растений во многом определяется запасенными питательными веществами, в первую очередь, крахмалом и липидами, которые можно выявлять с помощью гистохимического окрашивания. Одним из эффективных способов повышения адаптивности к низким температурам среды может стать применение кремнийсодержащих препаратов. Воздействия кремния на растения могут быть направлены на улучшение условий питания, а также на оптимизацию обменных процессов в клетках. Однако многие теоретические и практические вопросы, касающиеся полифункциональной роли кремния в растениях и почвах, остаются малоизученными [7], в связи с этим мы исследовали возможность повышения адаптационных свойств в предзимний период жизни растений.

Цель исследования – изучение влияния водного раствора оксида кремния (IV) в различных концентрациях на структурно-функциональные особенности и устойчивость розы *Fancy Babylon Eyes* к низким температурам среды.

Задачи исследования.

1. Изучить влияние оксида кремния в различных концентрациях (0,002; 0,004; 0,006; 0,008 %) на рост и развитие кустов роз по морфологическим признакам.

2. Провести рекогносцировочный опыт по изучению влияния различных концентраций оксида кремния на содержание крахмала и липидов в однолетних побегах роз *Fancy Babylon Eyes* в предзимний период.

3. Исследовать влияние оксида кремния в различных концентрациях на зимостойкость растений.

Научная новизна – в условиях Республики Удмуртия комплексные исследования зимостойкости розы на основе анализа запасов питательных элементов проведены впервые. Подобрана методика оценки зимостойкости и применения кремнийсодержащих препаратов, позволяющая при незначительном расширении лабораторных исследований провести достоверную раннюю диагностику зимостойкости розы.

Материал и методы. Основным объектом исследования служила роза Мускусная *Fancy Babylon Eyes*[1], возделываемая в г. Ижевске (центральная часть Удмуртской Республики, которая относится к умеренному климатическому поясу).

Климат в г. Ижевске умеренно-континентальный с многоснежными зимами и теплым коротким летом, а также чередующимися сезонами весны и осени. Наиболее тёплым месяцем года является июль со среднемесячной температурой 19,2 °С, самым холодным – январь со средней температурой -14,2 °С. Продолжительность безморозного периода по Ижевску составляет 208 дней, продолжительность вегетационного периода со среднесуточными температурами выше 5 °С – 167 дней. Наиболее интенсивный рост тепла в весенний сезон наблюдается в марте, что сопровождается началом таяния снега и переходом суточных температур через 0 °С в среднем 1 апреля. Переход среднесуточных температур через 0 °С в сторону понижения происходит 25 октября [8]. Территория Ижевска характеризуется достаточно высокими значениями солнечного сияния (1850–1900 ч в год). В январе наблюдается 34–35 солнечных часов в месяц, в период от февраля до марта происходит их резкое возрастание и в апреле количество часов составляет 179–184. В июне-июле регистрируется наибольшая продолжительность солнечного сияния – 289–291 ч, при переходе от сентября к октябрю зафиксировано уменьшение – до 68–70 ч [9].

Температура воздуха за исследуемый период (2021–2023 гг.) в условиях города Ижевска дана в таблице 1.

Для повышения адаптивности и зимостойкости кустов роз *Fancy Bobylon Eyes* к неблагоприятным условиям среды г. Ижевска была применена некорневая обработка по вегетирующим растениям раствором оксида кремния (прозрачная жидкость без запаха). Раствор оксида кремния (IV) (насыщенный раствор SiO_2 в воде 100 мг/л, pH = 7) предоставлен для исследования Отделом физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН. При взаимодействии SiO_2 с водой происходит реакция образования ортокремниевой кислоты: $SiO_2 + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4$. Растворы для обработки растений получали разведением исходного раствора дистиллированной водой.

Розы высадили весной в 2018 году, а осенью все кусты исследуемых роз обрезали на одинаковую высоту – 20 см от земли. Замеры высоты кустов проводили с 30 мая по 1 сентября в 2019–2021 гг.

Некорневые обработки растений раствором оксида кремния путем опрыскивания трижды за вегетационный период (май, июнь, июль) проводили в течение трех лет (2019–2021 гг.). В ходе исследования были апробированы концентрации раствора оксида кремния – 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 %, контролем служила дистиллированная вода.

В каждом варианте анализировали 5 кустов роз в 4-кратной повторности. Морфологические исследования вегетирующих органов (однолетних побегов) включали наблюдения за изменением высоты куста и количества побегов[2]. Забор материала для гистохимических исследований проводили при переходе от вегетации к покою в конце ноября. Отбирали однолетние побеги. С каждого побега брали образец в области 1-го и 3-го междоузлия (верхняя часть), в области 5-го и 7-го междоузлия (средняя часть) побега. Анализируя поперечные срезы однолетних побегов, определяли первичную кору, флоэму, камбий, паренхиму ксилемы, однорядные сердцевинные лучи, перимедуллярную зону и сердцевину, в которых накапливаются питательные вещества, и выставляли итоговые баллы в зависимости от того, сколько клеток накапливается в тканях в предзимний период.

Оценку содержания крахмала и липидов проводили во время подготовки растений к зиме – в условиях г. Ижевска в конце ноября. Поперечные срезы изготавливали на криостате из средней и верхней частей однолетних побегов в 10-кратной повторности, заливали матричной средой для криотомии (с функцией микротома) O. C. T. Compound, Tissue-Tek и на 15 мин помещали в вакуум. Затем кусочки замораживали на сухом льду и хранили при температуре -80 ºС. Из кусочков получали срезы толщиной 12 мкм с помощью криостата (с функцией микротома) Shandon Cryotome E. Толщину эпидермиса измеряли в программе ImageJ. Полученные данные статистически обрабатывали с использованием стандартных пакетов компьютерных программ Microsoft Office XP Excel и STATISTICA 10.0 по критерию Mann-Whitney U test.

[1]Fancy Babylon Eyes Гибрид Hulthemia persica Interplant Нидерланды, 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosebook.ru/roses/hulthemia-persica-hybrid/fancy-babylon-eyes/ (дата обращения: 14.06.2023).
[2]Серебряков И. Г. Морфология вегетативных органов высших растений. М.: Советская наука, 1952. С. 75.

Таблица 1 – **Температура воздуха по месяцам за исследуемый период в условиях г. Ижевска, °С (по данным Удмуртского ЦГМС, метеостанция Ижевск, http://udmpogoda.ru) /**
Table 1 – **Monthly air temperature for the study period in the city of Izhevsk, °C (according to the Udmurt CGMS, Izhevsk weather station, http://udmpogoda.ru)**

Месяц / Month	*Температура воздуха по декадам / Air temperature by decades*			*Среднее за месяц / Monthly average*	*Минимальная температура / Minimum temperature*
	I	*II*	*III*		
2019 г.					
Январь / January	-11,2	-8,1	-15,9	-11,8	-3
Февраль / February	-12,7	-7,8	-7,1	-9,4	-2
Март / March	-5,0	-1,6	0,5	-2,0	-17
Апрель / April	3,2	2,9	5,3	3,8	-8
Май /May	14,3	13,7	13,4	13,8	-2
Июнь / June	15,9	14,7	17,4	16,0	2
Июль /July	16,0	17,8	16,5	16,7	7
Август / August	12,8	16,5	13,1	14,1	3
Сентябрь / September	11,5	11,7	3,5	8,9	-3
Октябрь / October	9,3	2,0	1,3	4,2	-7
Ноябрь / November	-0,6	-3,5	-9,0	-4,3	-22
Декабрь / December	-4,0	-4,2	-9,1	-5,8	-24
2020 г.					
Январь / January	-4,6	-2,1	-7,3	-4,7	-24
Февраль / February	-7,6	-6,8	-0,9	-5,1	-23
Март / March	-1,4	1,3	1,5	0,5	-11
Апрель / April	3,0	5,3	5,2	4,5	-6
Май /May	14,3	11,3	14,1	13,2	-1
Июнь / June	15,9	15,8	12,0	14,6	4
Июль /July	20,8	22,8	18,7	20,8	4
Август / August	17,5	12,7	17,3	15,8	6
Сентябрь / September	14,0	10,0	9,0	11,0	1
Октябрь / October	7,5	8,0	0,5	5,3	-9
Ноябрь / November	0,3	-7,3	-6,8	-4,6	-18
Декабрь / December	-11,6	-14,0	-10,0	-11,9	-3
2021 г.					
Январь / January	-9,7	-17,7	-9,2	-12,2	-29
Февраль / February	-12,0	-17,1	-17,2	-9,4	-33
Март / March	-9,7	-6,8	0,1	-5,4	-25
Апрель / April	2,3	7,7	6,3	5,4	-5
Май /May	13,5	21,5	15,7	16,9	2
Июнь / June	16,1	19,2	25,0	20,1	5
Июль /July	21,3	20,2	17,2	19,5	6
Август / August	20,7	21,6	17,6	19,9	3
Сентябрь / September	10,5	7,8	6,6	8,3	-3
Октябрь / October	4,5	7,1	2,5	4,7	-7
Ноябрь / November	1,2	-4,9	-3,9	-2,5	-18
Декабрь / December	-6,4	-8,3	-15,6	-10,1	-28

В исследованиях использовали микрохимическую реакцию, основанную на изучении содержания крахмала реакцией с йодом в растворе йодистого калия. Реактив состоит из 0,5 г кристаллического йода, 1 г йодида калия, 400 г глицерина, 50 мл дистиллированной воды. Выявление липидов проводили с помощью красителя Судан III, который состоял из 0,01 г краски Судан III и 20 мл 96%-го этилового спирта. Для дальнейшей микроскопии срезы

заключали под стекло в среду, состоящую из глицерина и дистиллированной воды в соотношении 1:1[3]. Полученные срезы исследовали и фотографировали, используя микроскоп «Биомед TS-2000 LCD».

Результаты и их обсуждение. Ученые утверждают, что кремний обладает уникальными свойствами для жизни растений. Достоверность этой гипотезы подтверждается результатами проведенных исследований. Недостаток кремния негативно сказывается на росте, развитии и размножении растений [10].

Высота кустов роз, обработанных оксидом кремния, была больше в последний 4-й раз измерения 1 сентября по сравнению с контрольной группой (рис. 1). Наилучшие результаты по приросту получены в варианте, обработанном раствором в концентрации 0,006 % – прирост на 16,8 см выше по сравнению с контрольным.

По количеству побегов все группы, обработанные раствором оксида кремния, увеличивали кустистость растений (рис. 2).

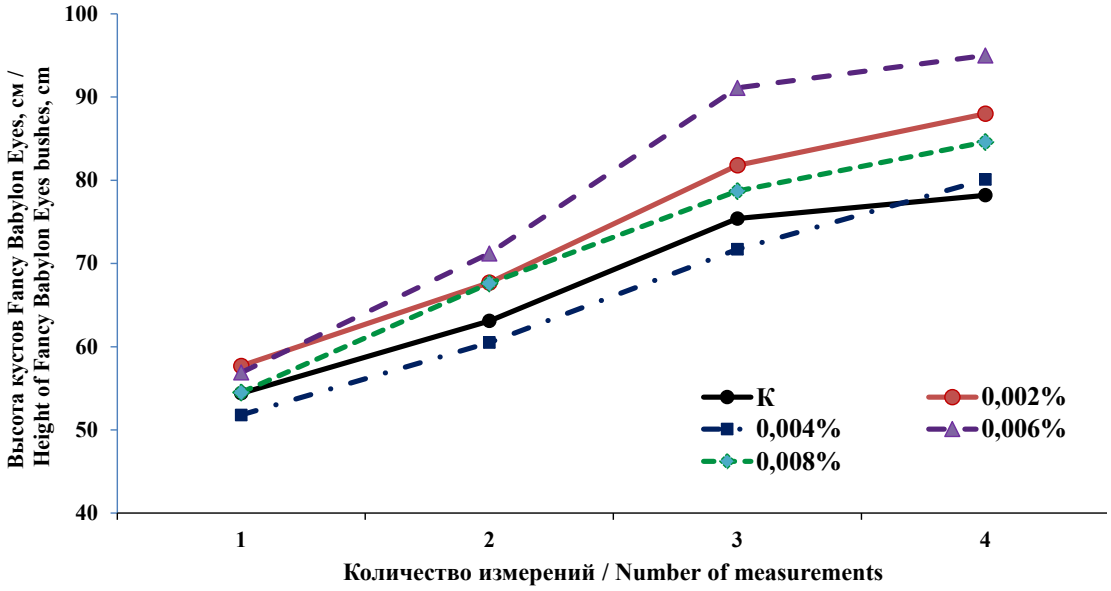


Рис. 1. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на кинетику изменения высоты кустов *Fancy Babylon Eyes*: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния (в среднем за 2019–2021 гг.) /**

Fig. 1. **The effect of non-root silicon oxide treatment on the kinetics of height changes in *Fancy Babylon Eyes* bushes: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – silicon oxide concentrations (on average for 2019–2021)**

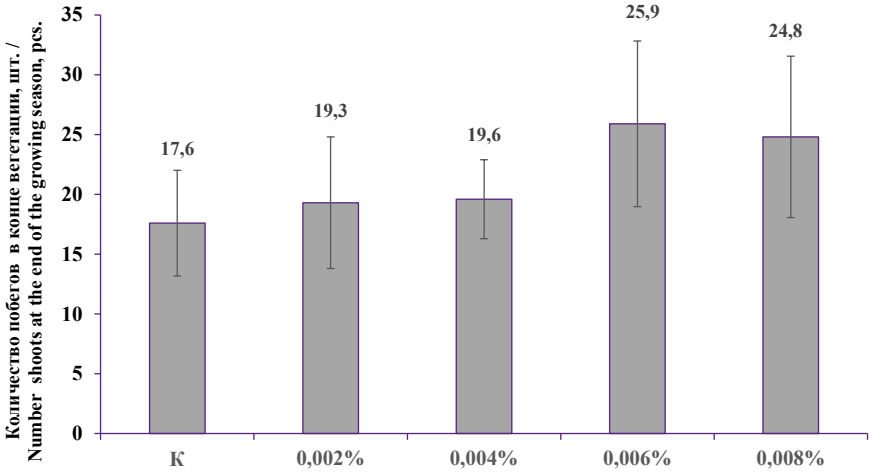


Рис. 2. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на количество побегов *Fancy Babylon Eyes* в конце вегетации: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния (в среднем за 2019–2021 гг.) /**

Fig. 2. **The effect of non-root treatment with silicon oxide on the number of Fancy Babylon Eyes shoots at the end of the growing season: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – concentrations of silicon oxide (on average for 2019–2021)**

[3]Серебряков И. Г. Указ. соч. С. 7-8, 42–50.

Тенденция к увеличению количества побегов отмечена у групп роз, обработанных растворами оксида кремния в концентрациях 0,006 и 0,008 %. Растения в вариантах с некорневой обработкой растворами меньшей концентрации (0,002 и 0,004 %) по количеству побегов не различались, однако при разведении 0,002 % наблюдали бóльшую вариативность показателя.

Кремний придает растениям прочность, укрепляя стенки клеток и обеспечивая их жесткость. Накопление кремния происходит в эпителии, листьях, корнях и оболочке зерен растений, эти запасы помогают растениям выжить при низких температурах [10, 11]. Влияние некорневой обработки оксидом кремния на толщину эпидермиса представлено на рисунке 3.

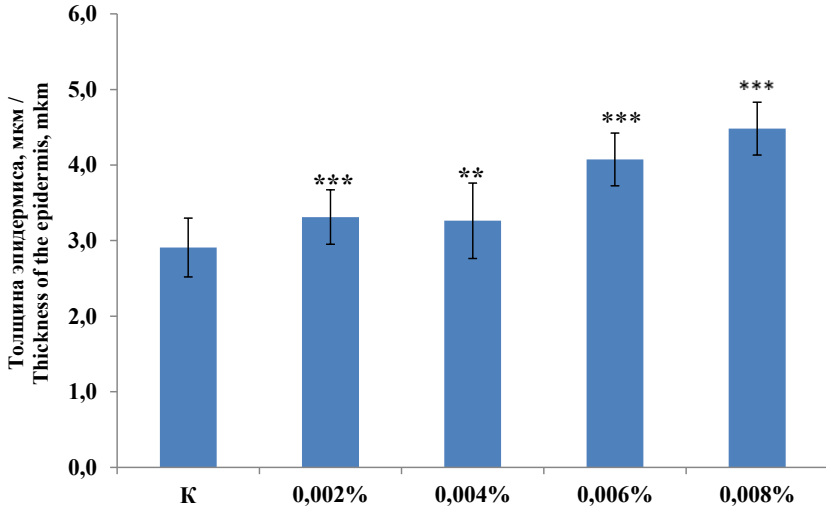


Рис. 3. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на толщину эпидермиса в средней части побега *Fancy Babylon Eyes* в конце вегетации: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния; **p <0,05; ***p <0,01 относительно контроля (в среднем за 2019–2021 гг.) /**

Fig. 3. **The effect of non-root treatment with silicon oxide on the thickness of the epidermis in the middle part of the Fancy Babylon Eyes shoot at the end of the growing season: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – concentrations of silicon oxide; **p <0.05; ***p <0.01 relative to the control (on average for 2019–2021)**

Некорневые обработки растений растворами оксида кремния всех изученных концентраций привели к статистически значимому утолщению эпидермиса: при 0,002 и 0,004 % увеличение составило 10,4 и 8,8 %, при 0,006 и 0,008 % – 35,8 и 49,4 % соответственно по сравнению с контролем.

Готовность побегов роз к зиме определяли гистохимическими методами исследований с использованием качественных реакций на углеводы и липиды. Оценка содержания крахмала и липидов определяется во время подготовки к зиме, для климатических условий Ижевска – это ноябрь. Для зимостойких сортов характерен осенний максимум крахмала в октябре, а в ноябре происходит гидролиз крахмала [12, 13]. В ноябре из-за понижения температуры в побегах резко увеличивается содержание липидов. Запасенные вещества определяли по шкале, в которой учтены особенности их накопления. Концентрацию крахмала и липидов в различных тканях годичных побегов устанавливали в ходе микроскопических исследований с гистохимическим окрашиванием препаратов, как и в работах других исследователей [14, 15, 16, 17].

По методике, разработанной М. В. Бессчетновой [5] и О. Ю. Васильевой для роз [6], запасенные вещества определяли по сумме набранных баллов в каждой ткани (табл. 2).

Наиболее интересна локализация липидов и крахмала в тканях исследуемых групп верхней и средней частей однолетних побегов в конце ноября. Отложенный крахмал – это тот материал, который в осеннее похолодание гидролизируется, образуя липиды, тем самым помогает клеткам выдерживать морозы [5, 6].

В тканевом распределении липидов наиболее насыщены эпидермис и первичная кора (5 баллов), камбий в многорядных сердцевинных лучах (3 балла). Меньшее количество липидов в сердцевине (1 или 0 баллов).

Полный гидролиз крахмала наблюдали в верхней части побега при обработке 0,002%-м раствором оксида кремния – 5 баллов, в средней части побега наиболее высокое содержание крахмала – 16 баллов (рис. 4).

Таблица 2 – **Содержание крахмала и липидов в тканях однолетних побегов роз в предзимний период (по [5, 6]) /**
Table 2 – **Starch and lipid content in the tissues of annual rose shoots in the pre-winter period ([5, 6])**

Наличие крахмальных зерен в тканях / The presence of starch grains in tissues	*Окрашивание тканей (липиды) / Tissue staining (lipids)*	*Оценка содержания в баллах / Evaluation of the content in points*
Встречаются в единичных клетках / They occur in single cells	Бледно-розовое, чуть заметное / Pale pink, barely noticeable	1
Встречаются менее чем в 50 % клеток / Occur in less than 50 % of cells	Светло-розовое, хорошо заметное / Light pink, well visible	2
Встречаются не менее чем в 50 % клеток / They occur in at least 50 % of cells	Розовое средней интенсивности / Pink medium intensity	3
Отсутствуют в единичных клетках / Absent in single cells	Ярко-розовое / Bright pink	4
Есть во всех клетках / There are in all cells	Светло-красное / Light red	5

У этих же растений отмечено самое высокое содержание липидов (общее количество – 21 и 24 балла (рис. 5)). В целом это говорит о том, что у них наблюдается превращение крахмала в жиры в большей степени. С нашей точки зрения, такое состояние свидетельствует о лучшей подготовке к зимнему периоду, чем у контрольных растений. У необработанных растений относительно высокое содержание крахмала (11 и 12 баллов) и меньшее липидов (19 и 20 баллов). Растения, в тканях которых содержится много жиров, в зимний период более морозоустойчивы, чем растения, в тканях которых запасается крахмал [5, 6].

Как видно из данных рисунка 6, у розы *Fancy Bobylon Eyes* в предзимнее время накапливается максимальное количество липидов, в то время как крахмал практически полностью гидролизуется. Наибольшее количество крахмала содержится в однорядных сердцевинных лучах как в верхней, так и средней частях исследуемых побегов. К концу периода вегетации единичные зерна крахмала окрашиваются в перимедуллярной зоне и клетках сердцевины. У кустов роз, обработанных раствором оксида кремния в концентрациях 0,004- и 0,008 %, отмечено более низкое содержание липидов и крахмала как в верхней, так и средней частях исследуемого побега.

Содержание запасенных веществ в верхних частях побега выше, чем в средних, что рассматривается нами как неблагоприятный признак. В мероприятия по подготовке побегов роз к зимнему периоду входит обрезка, поэтому участки с высоким содержанием веществ удаляются.

Исследуемые концентрации не повлияли на морфологические качества розы *Fancy Bobylon Eyes.* С точки зрения отечественных и зарубежных авторов по исходной проблематике, кремний придает растениям прочность, накапливаясь в эпидермисе, что позволяет растениям выживать в условиях действия низких температур [5, 6]. В наших исследованиях при обработке растений роз с повышением концентрации оксида кремния до 0,006 и 0,008 % толщина эпидермиса существенно увеличивается по сравнению с контрольной группой.

По данным литературы [6], для зимостойких сортов роз осенний максимум крахмала отмечается в октябре, а с понижением температуры происходит его гидролиз, и содержание липидов в тканях побегов роз резко увеличивается. При обработке растений роз 0,002%-м раствором оксида кремния гидролиз крахмала наблюдается как в верхней, так и в средней частях побега, превращение крахмала в жиры происходит интенсивнее, поэтому растения этой группы лучше подготовлены к зимнему периоду.

При изучении влияния раствора оксида кремния в различных концентрациях на структурно-функциональные особенности и устойчивость розы *Fancy Babylon Eyes* к низким температурам среды была подобрана достаточно информативная методика оценки зимостойкости, позволяющая при незначительном расширении лабораторных исследований провести достоверную раннюю диагностику зимостойкости розы, которя ранее не использовалась в Удмуртской Республике.

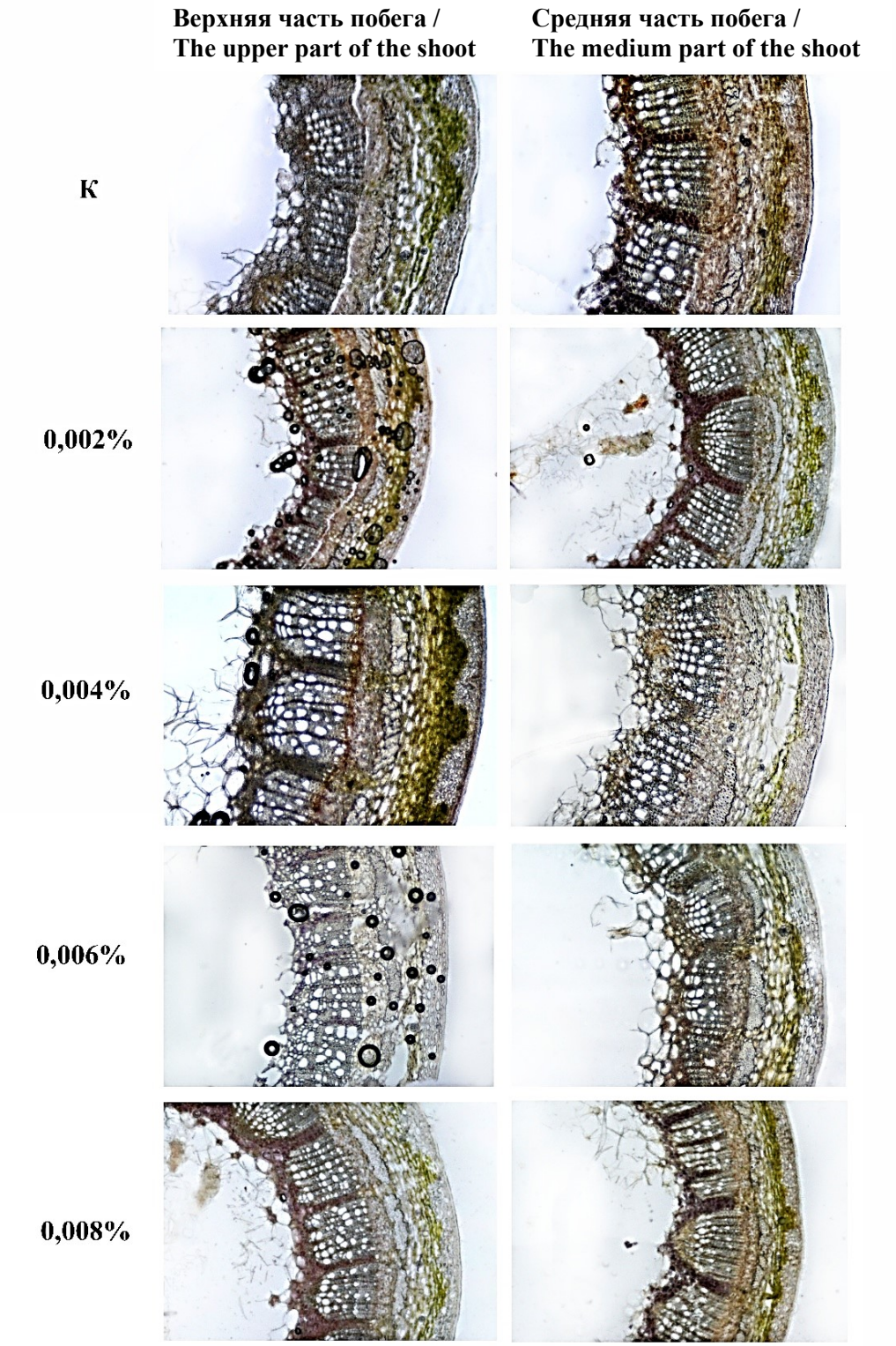


Рис. 4. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на тканевое распределение крахмала в предзимний период, поперечные срезы однолетних побегов *Fancy Babylon Eyes*: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния. Окраска раствором йода, микроскопия – увеличение 80х (2021 г.) /**

Fig. 4. **The effect of foliar treatment with silicon oxide on the tissue distribution of starch in the pre-winter period, cross-sections of annual shoots of *Fancy Babylon Eyes*: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – concentrations of silicon oxide. Iodine staining, microscopy – 80x magnification (2021)**

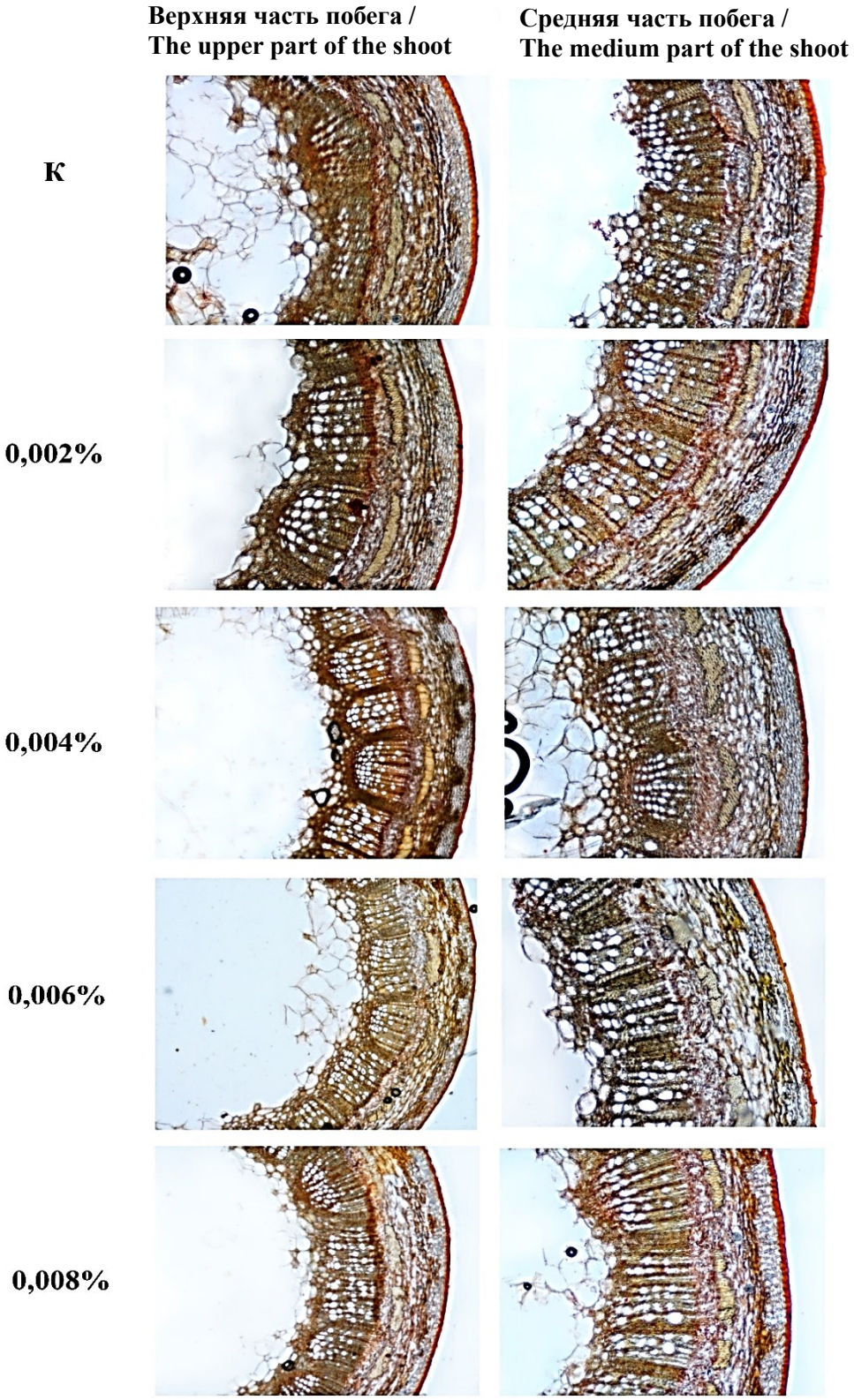


Рис. 5. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на тканевое распределение липидов в предзимний период поперечные срезы однолетних побегов *Fancy Babylon Eyes*: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния. Окраска раствором Судан III. Микроскопия – увеличение 80х (2021 г.)**

Fig. 5. **Effect of non-root treatment with silicon oxide on tissue lipid distribution in the pre-winter period cross-sections of annual shoots of *Fancy Babylon Eyes*: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – concentrations of silicon oxide. Staining with Sudan III solution. Microscopy – 80x magnification (2021)**

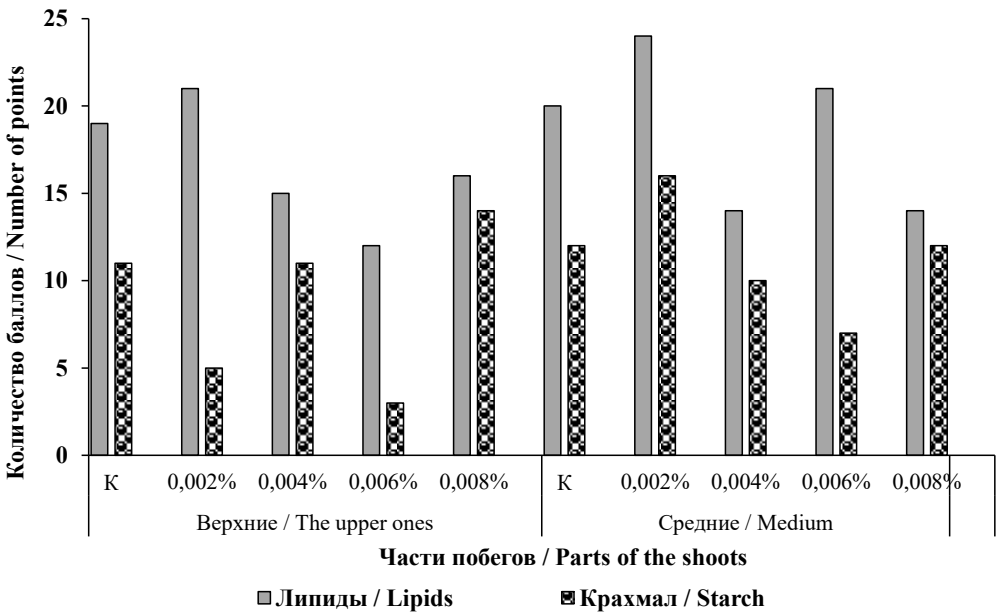


Рис. 6. **Влияние некорневой обработки оксидом кремния на содержание крахмала и липидов в однолетних побегах розы *Fancy Babylon Eyes*: К – контроль; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 % – концентрации оксида кремния (в среднем за 2021 г.) /**

Fig. 6. **The effect of foliar treatment with silicon oxide on the starch and lipid content in annual shoots of *Fancy Babylon Eyes*: K – control; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008 % – concentrations of silicon oxide (average for 2021)**

Из полученных результатов трёхлетних исследований сорт розы *Fancy Bobylon Eyes* предлагается отнести к абсолютно зимостойким, которые легко переносят низкие температуры, не нуждаются в пригибании и дополнительной защите в условиях города Ижевска. Этот сорт розы можно рекомендовать для использования в промышленном цветоводстве открытого грунта в условиях Удмуртской Республики.

Выводы. 1. Некорневая обработка роз сорта *Fancy Bobylon Eyes* оксидом кремния повлияла на морфологические качества растений (высоту кустов и количество побегов), но отмечена лишь тенденция к увеличению этих показателей. При обработке растений раствором оксида кремния в концентрациях 0,006 и 0,008 % толщина эпидермиса увеличилась на 35,8 и 49,4 % соответственно по сравнению с контрольной группой.

2. В группе растений, обработанных 0,002-процентным водным раствором оксида кремния (IV), гидролиз крахмала наблюдался как в верхней, так и в средней части побега, превращение крахмала в липиды происходило интенсивнее, поэтому растения этой группы к зимнему периоду подготовлены лучше.

3. Сорт розы *Fancy Babylon Eyes* в исследуемые годы (2019–2021) обладал высокой зимостойкостью (5 баллов), устойчивостью к низким температурам в зимний период. С целью повышения зимостойкости кустов роз рекомендуем использовать водный раствор оксида кремния (IV) в концентрациях 0,006 и 0,008 %, применяя ежегодную трехкратную некорневую обработку.

Список литературы

1. Тахтаджян А. Л. Система и филогения цветковых растений. М.–Л.: Наука, 1966. 611 с.

2. Шишкин О. К. Розы на Среднем Урале. Цветоводство. 1991;(3):32–33.

3. Коробов В. И. Новые перспективные сорта садовых роз для декоративного оформления. Научные труды НИИ горного садоводства и цветоводства. Сочи, 1983. Т. 30. Вып. 1. С. 81–85.

4. Marko N., Korsakova S. Phenological response to the climate change of oil-bearing rose under subtropical conditions of the Southern coast of the Crimea. Acta Horticulturae. 2019;1257:175–182.
DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1257.25

5. Бессчетнова М. В. Сезонная динамика запасных веществ в побегах роз разной зимостойкости. Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1973;(3):91–95.

6. Васильева О. Ю. Оценка зимостойкости видов и сортов роз с использованием гистохимических методов. Садоводство и виноградарство. 2016;(3):29–34. DOI: https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.3.1919 EDN: VZYFSB

7. Акимова С. В., Киркач В. В., Аладина О. Н., Деменко В. И., Стрелец В. Д., Паничкин Л. А., Воскобойников Ю. В., Скрипицына Е. К. Применение препаратов «Силиплант» и «Экофус» на этапе адаптации к нестерильным условиям клонового подвоя яблони 54-118. Плодоводство и ягодоводство России. 2019;59:11–18. DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-59-11-18 EDN: TQLCWJ

8. Адаховский Д. А. Сезонное развитие природы на территории Ижевска и его окрестностей, и его особенности в условиях современной климатической тенденции. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2011;(2):3–12. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16405571 EDN: NVABYZ

9. Николаев А. А. Климатические ресурсы солнечной радиации на территории Удмуртской Республики. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2012;(4):115–121. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18303769 EDN: PKOBVD

10. Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1994;91(1):11–17. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11

11. Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Кособрюхов А. А., Биль К. Я. О подвижных формах кремния в растениях. Доклады Академии наук. 2008;418(2):279–281. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9590909 EDN: IBWVJD

12. Ma J. F., Tamai K., Yamaji N., Mitani N., Konishi S., Katsuhara M., et al. A silicon transporter in rice. Nature. 2006;440:688–691. DOI: https://doi.org/10.1038/nature04590

13. Козлова М. В. Эколого-биологические особенности *Rosa glauca* Pourr., *Rosa canina* L., *Rosa majalis* Herrm. при использовании в качестве подвоев садовых роз в лесостепи Западной Сибири. Самарский научный вестник. 2021;10(4):61–67. DOI: https://doi.org/10.17816/snv2021104109 EDN: RZJRCO

14. Васильева О. Ю., Амброс Е. В., Козлова М. В. Адаптивный потенциал подвоя *Rosa canina* L., полученного *in vitro*, в условиях юга Западной Сибири. Сельскохозяйственная биология. 2022;57(3):579–590. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.579rus EDN: IXHSKH

15. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов П. В. Наследственная обусловленность видоспецифичности тополей по содержанию крахмала в тканях побегов. Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2021;25(1):22–31. DOI: https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-1-22-31 EDN: YPBBZN

16. Тихомирова Л. И., Базарнова Н. Г., Синицына А. А. Гистохимическое изучение клеток ксилемы у *Iris sibirica* L. в культуре *in vitro*. Химия растительного сырья. 2017;(1):37–49. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2017011527 EDN: YGDKUV

17. Найда Н. М., Дюндиков Е. Э. Сравнительное анатомическое исследование вегетативных органов двух сортов роз. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022;(1(66)):17–28. DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-1-17-28 EDN: XZHBCA

References

1. Takhtadzhyan A. L. The system and phylogeny of flowering plants. Moscow–Leningrad: *Nauka*, 1966. 611 p.

2. Shishkin O. K. Roses in the Middle Urals. *Tsvetovodstvo* = Floriculture. 1991;(3):32–33. (In Russ.).

3. Korobov V. I. New promising cultivars of garden roses for decoration. Scientific papers of the Research Institute of Mountain Gardening and Floriculture. Sochi, 1983. Vol. 30. Iss. 1. pp. 81–85

4. Marko N., Korsakova S. Phenological response to the climate change of oil-bearing rose under subtropical conditions of the Southern coast of the Crimea. Acta Horticulturae. 2019;1257:175–182. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1257.25

5. Besschetnova M. V. Seasonal dynamics of reserve substances in shoots of roses of different winter hardiness. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana*. 1973;(3):91–95. (In Kazakhstan).

6. Vasilyeva O. Yu. Assessment of winter hardiness of rose species and varieties using histochemical methods. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2016;(3):29–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.3.1919

7. Akimova S. V., Kirkach V. V., Aladina O. N., Demenko V. I., Strelets V. D., Panichkin L. A., Voskoboynikov Yu. V., Skripitsyna E. K. Application of Siliplant and Ecofus drugs at the stage of adaptation to the unsterile conditions of the clone root of the apple 54-118. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2019;59:11–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-59-11-18

8. Adakhovskiy D. A. Seasonal development of the nature in territory of Izhevsk and its vicinities and its features in conditions of the modern climatic tendency. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2011;(2):3–12. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16405571

9. Nikolaev A. A. Climatic resources of solar radiation in the territory of the Udmurt republic. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2012;(4):115–121. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18303769

10. Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1994;91(1):11–17. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11

11. Matychenkov V. V., Bocharnikova E. A., Kosobryukhov A. A., Bil' K. Ya. On mobile forms of silicon in plants. *Doklady Akademii nauk*. 2008;418(2):279–281. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9590909

12. Ma J. F., Tamai K., Yamaji N., Mitani N., Konishi S., Katsuhara M., et al. A silicon transporter in rice. Nature. 2006;440:688–691. DOI: https://doi.org/10.1038/nature04590

13. Kozlova M. V. Ecological and biological features of *Rosa glauca* Pourr., *Rosa canina* L., *Rosa majalis* Herrm. in using as rootstocks of garden roses in the forest-steppe of Western Siberia. *Samarskiy nauchnyy vestnik* = Samara Journal of Science. 2021;10(4):61–67. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17816/snv2021104109

14. Vasilyeva O. Yu., Ambros E. V., Kozlova M. V. The adaptive potential of the *Rosa canina* L. rootstock obtained *in vitro* in the conditions of the south of Western Siberia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(3):579–590. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.579rus

15. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Besschetnov P. V. Genetic dependence of poplar species specificity on starch content in shoots tissues. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2021;25(1):22–31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-1-22-31

16. Tikhomirova L. I., Bazarnova N. G., Sinitsyna A. A. Histochemical study xylem cells have *Iris sibirica* L. in culture *in vitro*. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2017;(1):37–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2017011527

17. Nayda N. M., Dyundikov E. E. Comparative anatomical study of vegetative organs of two varities of roses. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2022;(1(66)):17–28. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-1-17-28

Сведения об авторах

✉ **Ардашева Ольга Альбертовна,** кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-6828-4802,** e-mail: o.ardashewa@yandex.ru

Федоров Александр Владимирович, доктор с.-х. наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru,
ORCID: **https://orcid.org/0000-0003-2759-2037**

Сергеева Ксения Сергеевна, аспирант кафедры физиологии, клеточной биологии и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», ул. Университетская, д. 1, г. Ижевск, Российская Федерация, 426034, e-mail: rector@udsu.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-3358-9611**

Information about the authors

✉ **Olga A. Ardasheva,** PhD in Agricultural Science, senior researcher, Department of Plant Introduction and Acclimatization, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, T. Baramzina, 34, Izhevsk, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: **https://orcid.org/0000-0001-6828-4802,** e-mail: o.ardashewa@yandex.ru

Alexander V. Fedorov, DSc in Agricultural Science, professor, Acting Head of the Department of Landscape Architecture, Russian Timiryazev State Agrarian University, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0003-2759-2037**

Ksenia S. Sergeeva, postgraduate student, the Department of Physiology, Cell Biology and Biotechnology, Udmurt State University, Universitetskaya 1, Izhevsk, Russian Federation, 426034, e-mail: rector@udsu.ru,
ORCID: **https://orcid.org/0000-0002-3358-9611**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.286–294
УДК 58.02:582.931.4 (470.57)

Виды и сорта сирени (*Syringa* L.), рекомендованные для декоративного садоводства в Республике Башкортостан

© 2025. Н. В. Полякова✉
Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Российская Федерация

Сирень как один из наиболее декоративных и неприхотливых к условиям выращивания кустарник пользуется большой популярностью в ландшафтной индустрии. Комплексные интродукционные исследования по формированию устойчивого к условиям Башкирского Предуралья ассортимента видов и сортов Syringa L. проводили с 1999 по 2024 год. Территория исследований относится к 3-й зоне выносливости растений, климат континентальный. Объекты исследований – 260 таксонов сирени коллекции Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН. По общепринятым методикам фенологических наблюдений и зимостойкости выделены 10 видов, 52 сорта сирени обыкновенной и 3 сорта сирени гиацинтоцветной, успешно прошедших акклиматизацию и стабильно проявляющих декоративные признаки по максимальным показателям. В работе даны размеры куста каждого таксона, сроки и продолжительность цветения, окраска, форма и размеры цветков и соцветий. Разработаны рекомендации по вариантам применения видов и сортов сирени в ландшафтном дизайне. Данные таксоны сирени могут быть предложены для дальнейшего использования в озеленении населенных пунктов Башкирского Предуралья и сопредельных регионов.

Ключевые слова: *ассортимент декоративных растений, озеленение, интродукция, ландшафтный дизайн, Башкирское Предуралье*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (тема № 125012200599-6).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Полякова Н. В. Виды и сорта сирени (*Syringa* L.), рекомендованные для декоративного садоводства в Республике Башкортостан. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):286–294. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.286-294

Поступила: 11.02.2025 Принята к публикации: 18.03.2024 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Species and cultivars of lilac (*Syringa* L.) recommended for ornamental gardening in the Republic of Bashkortostan

© 2025. Natalya V. Polyakova✉
South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

Lilac, as one of the most decorative and unpretentious to growing conditions shrubs, is very popular in landscape industry. Comprehensive introduction studies on the formation of an assortment of Syringa L species and cultivars resistant to the conditions of the Bashkir Cis Urals were conducted from 1999 to 2024. The research area belongs to the 3rd zone of plant endurance, the climate is continental. The objects of the research were 260 lilac taxa from the collection of the South Ural Botanical Garden-Institute of the UFIC RAS. According to generally accepted methods of phenological observations and winter hardiness, there have been identified 10 species, 52 cultivars of common lilac and 3 cultivars of hyacinthocolor lilac, which have successfully passed acclimatization and consistently show decorative signs at maximum values. Data on the size of the bush of each taxon, the timing and duration of flowering, color, shape and size of flowers and inflorescences are provided. Recommendations are given on variants for the use of lilac species and cultivars in landscape design. These lilac taxa can be recommended for further use in landscaping settlements of the Bashkir Cis Urals and adjacent regions.

Keywords: *assortment of ornamental plants, landscaping, introduction, landscape design, Bashkir Cis Urals,*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (theme No.125012200599-6).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author has stated that there is no conflict of interest.

For citations: Polyakova N. V. Species and cultivars of lilac (*Syringa* L.) recommended for ornamental gardening in the Republic of Bashkortostan. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):286–294. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.286-294

Received: 11.02.2025 Accepted for publication: 18.03.2024 Published online: 29.04.2025

Род *Syringa* L. в настоящее время включает около 30 видов и более 2500 сортов [1]. Окраска цветков и соцветий сортов сирени чрезвычайно разнообразна, ее разделяют на 7 цветовых групп от белой до красноватой. Кроме того, цветок сирени, особенно у махровых сортов, также имеет различные формы, а крона многих видов и сортов весьма декоративна, даже после периода цветения. Учитывая общую неприхотливость и невысокую требовательность сирени к условиям выращивания, можно считать данную культуру одной из наиболее востребованных в сфере ландшафтного дизайна [2, 3]. Этому способствует широкая интродукция видов и сортов сирени [4, 5].

Для каждого региона ассортимент декоративных растений составляется в зависимости от почвенно-климатических условий [6, 7, 8], а также особенностей архитектуры городов и других населенных пунктов [9, 10]. Большую роль при составлении таких списков играют ботанические сады и дендрарии, которые на протяжении многих лет собирают коллекции растений и наблюдают за их адаптацией в новых климатических условиях [11, 12].

В Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского федерального исследовательского центра РАН (ЮУБСИ УФИЦ РАН) коллекция рода Сирень начала формироваться в 1941 г. и в настоящее время включает 260 таксонов, в числе которых 16 видов и 244 сорта. Виды сирени выращены, в основном, из семян, полученных в рамках Международной программы обмена растительным материалом между ботаническими садами. Сорта сирени поступали в ботанический сад черенками, укорененными черенками, саженцами и микроклонированными регенерантами из ботанических садов России и зарубежья, частных коллекций и питомников. На протяжении последних 25 лет на базе коллекции проводились комплексные интродукционные исследования по изучению перспективности и устойчивости таксонов сирени в условиях Башкирского Предуралья [13, 14].

Цель исследований – представить ассортимент видов и сортов сирени, наиболее устойчивых к условиям Башкирского Предуралья, дать характеристику данных таксонов для использования в озеленении Республики Башкортостан.

Научная новизна – характеристика декоративных качеств и возможных вариантов использования в озеленении видов и сортов сирени, прошедших многолетние интродукционные испытания в климатических условиях Южного Урала.

Материал и методы. Объект исследования – коллекция сирени ЮУБСИ, на базе которой ежегодно на протяжении более 25 лет (с 1999 по настоящее время) по общепринятым методикам проводятся фенологические наблюдения [15], изучение зимостойкости [16], апробация различных методов вегетативного и семенного размножения [17].

Фенологические наблюдения проводили по 9 основным фазам: разверзание (раскрывание) почек; отрастание вегетативных побегов; начало цветения; окончание цветения; окончание роста вегетативных побегов; начало одревеснения побегов; полное одревеснение побегов; начало созревания плодов; начало листопада. Зимостойкость оценивали по 7-балльной шкале, разработанной в Главном ботаническом саду РАН для древесных растений: I – растения не обмерзают; II – обмерзает не более 50 % длины однолетних побегов; III – обмерзает от 50 до 100 % длины однолетних побегов; IV – обмерзают более старые побеги; V – обмерзает надземная часть до снегового покрова; VI – обмерзает вся надземная часть; VII – растения вымерзают целиком. Размножение сортов осуществляли вегетативными методами (в основном, зелеными черенками), видов – посевом в грунт под зиму.

Климат в г. Уфе континентальный, с морозной зимой и жарким летом. Средняя многолетняя минимальная температура января составляет -19,5 °С, средняя многолетняя максимальная температура июля – 25,5 °С, средняя многолетняя годовая сумма осадков – 569 мм. Абсолютный температурный минимум наблюдали в январе 1979 года (-49 °С), максимум в июле 1986 года (37 °С). Согласно Европейской карте зон выносливости растений [18], город Уфа располагается в 3-й зоне.

За последние 25 лет наблюдений климат в районе исследований менялся в сторону потепления, о чем свидетельствуют участившиеся засушливые весенне-летние периоды, теплые осенние периоды и уменьшение снежного покрова зимой. По сравнению с первым десятилетием XXI века, во втором десятилетии сроки начала вегетации видов и сортов сирени стали более поздними (на 4 дня в среднем), а окончание вегетации – более ранним (на 8 дней в среднем), сроки начала цветения также сдвинулись на 4 дня в среднем в сторону поздних. Продолжительность цветения видов сирени

в 2020-х гг. сократилась на 5-6 дней по сравнению с первым десятилетием текущего века. Длительность периода вегетации в среднем сократилась на 12 дней. Все эти явления вызваны, очевидно, изменениями климатических параметров Башкирского Предуралья [14].

Результаты и их обсуждение. Из 260 таксонов сирени коллекции ЮУБСИ в результате многолетнего комплексного интродукционного изучения были выделены наиболее устойчивые в условиях Башкирского Предуралья виды и сорта (табл.). Для каждого таксона представлены данные по параметрам куста, срокам и продолжительности цветения, размерам цветков и соцветий, а также окраске и форме цветка. В совокупности список рекомендованных таксонов сирени включает 10 видов, 52 сорта сирени обыкновенной и 3 сорта сирени гиацинтоцветной.

В коллекции ЮУБСИ представлено 16 видов рода *Syringa*, из них мы выделили 10, которые по максимуму признаков на протяжении многих лет демонстрировали высокие показатели (табл.). Практически все виды из рекомендованного списка обильно и ежегодно цветут в условиях Уфы, а следовательно, имеют максимальную декоративность. Исключение составляет сирень амурская (*S. reticulata ssp. amurensis*), она в редкие годы не цветет, но учитывая другие ее свойства и признаки (оригинальность, особый медовый аромат, обильность цветения, поздние сроки зацветания, высокая зимостойкость) мы рекомендуем данный вид для озеленения в Башкирском Предуралье. Кроме декоративности, виды сирени заслуживают внимания при выборе их для озеленения как газоустойчивые, пылеулавливающие (сирень обыкновенная и венгерская), а также растения, содержащие в составе отдельных своих частей большое количество биологически активных веществ: флавоноидов, органических кислот и антиоксидантов (сирень Комарова) [19, 20, 21].

Некоторые из сортов, представленных в таблице, состоят в коллекции с середины прошлого века, а значит, в течение нескольких десятков лет успешно прошли акклиматизацию и могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в ландшафтном дизайне Республики Башкортостан: ‘Andenken an Ludwig Spaeth‘; ‘Charles X’; ‘Condorcet’; ‘Exellent’; ‘Jules Simon’; ‘Katherine Havemeyer’; ‘Marie Legraye’; ‘Michel Buchner’; ‘Mme Antoine Buchner’; ‘Mme Lemoine’; ‘Mrs. Edward Harding’; ‘President Grevy’; ‘President Poincare’; ‘Ruhm von Horstenstein‘, а также сорт сирени гиацинтоцветной ‘Buffon’. В коллекции некоторые сорта появились в последние 10–15 лет, однако успели зарекомендовать себя как зимостойкие, ежегодно обильно цветущие: ‘Знамя Ленина’; ‘Защитникам Бреста’; ‘Изобилие’; ‘Космос’; ‘Красавица Москвы’; ‘Михайло Ломоносов’; ‘Суворовец’; ‘Capitaine Baltet’; ‘Cavour’; ‘Miss Ellen Willmott’; ‘Paul Hariot’; ‘Sensation’; ‘Souvenir d’Alice Harding’.

Особой гордостью коллекции являются сорта, выведенные в нашем Ботаническом саду в 70-х годах прошлого века первым куратором коллекции сирени, известным дендрологом и селекционером А. С. Сахаровой: ‘Агидель’, ‘Айгуль’, ‘Алеша’, ‘Гульназира’, ‘Нафиса’, ‘Шаура’ и ‘Салават Юлаев’. Последний сорт является визитной карточкой ЮУБСИ, Уфы и Башкортостана – очень оригинальный и узнаваемый, имеет густомахровые цветки насыщенного пурпурно-фиолетового цвета, крупные и очень плотные соцветия.

По результатам наших наблюдений, все виды сирени в основном зимостойки. Однако в условиях аномальных зим (например, в 2006-2007 гг. или 2022-2023 гг.), отличающихся резкими перепадами температур, у некоторых видов (особенно *S. pubescens* и *S. sweginzowii*) зимостойкость снижается до III-IV баллов, что соответствует обмерзанию однолетних побегов (до 100 % длины) и более старых стволиков. Двухлетний саженец *S.* × *chinensis*, выращенный из семян и зимующий в контейнере в условиях открытого грунта, в суровую зиму 2009-2010 гг., когда температура воздуха на протяжении двух недель держалась на уровне -40…-45 ºС, вымерз полностью. Большинство повреждений в зимнее время отмечается у старых коллекционных экземпляров. Молодые же растения, вступившие в генеративный возраст, даже очень суровые зимы переносят хорошо. Особенно высокой устойчивостью к условиям зимовки (в т. ч. к низким температурам) отличаются *S. reticulata ssp. amurensis*, *S. vulgaris* и ее сорта. Обмерзание однолетних побегов у молодых экземпляров сортов сирени обыкновенной было отмечено после зимовки в 2022-2023 гг., что бывает исключительно редко. У *S. emodi* и *S. velutina,* даже в суровые зимы, зимостойкость оценивается не ниже III баллов. Иногда подмерзают, но в целом довольно устойчивы к низким температурам *S. josikaea, S.* × *henryi, S. komarowii, S. pubescens* и *S. sweginzowii*.

Таблица – **Характеристика видов и сортов сирени для озеленения в Республике Башкортостан (1999–2024 гг.)** /
Table – **Characteristics of species and cultivars of lilac for landscaping in the Republic of Bashkortostan (1999–2024)**

Название / Name	*Высота куста, м / Bush height, m*	*Ширина кроны, м / Crown width, m*	*Начало цветения / Begin-ning of flowering*	*Продолжительность цветения, дни / Flowering duration, days*	*Цветок / Flower*			
					строение / structure	*окраска / coloring*	*размеры, см / size, cm*	*длина соцветия, см / inflorescence length, cm*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сирень сетчатая амурская *Syringa reticulata* (Blume) H. Hara ssp. *amurensis* (Rupr.) P.S. Green et M.C. Chang	8,0	4,0	14.06	7–12	Простой / Simple	Кремово-белая / Creamy white	0,6–0,8	10–20
Сирень венгерская *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.	4,0	2,5	25.05	10–18		Фиолетово-лиловая / Violet-lilac	0,8–1,0	12–18
Сирень Генри *Syringa × henryi* C.K. Schneid.	3,0	2,0	01.06	10–12		Красновато-лиловая / Reddish purple	0,8–1,0	12–17
Сирень гиацинтоцветная *Syringa × hyacinthiflora* L.	4,0	2,5	01.05	10–18		Лиловая / Purple	1,0–1,2	12–17
С. гиацинтоцветная ‘Buffon’	3,0	2,5	15.05	12–15		Розовая / Pink	2,5–3,0	15–18
С. гиацинтоцветная ‘Excel’	3,0	2,0	14.05	12–14		Розовая / Pink	2,5	12–15
С. гиацинтоцветная ‘Fantasy’	2,5	1,5	12.05	10–12	Махровый / double	Бело-розовая / White and pink	3,0	12–15
Сирень гималайская *Syringa emodi* Wall. ex Royle	2,5	2,0	25.05	10–14	Простой / Simple	Розово-лиловая / Pink-purple	0,8–1,0	12–15
Сирень Звегинцова *Syringa sweginzowii* Koehne & Lingelsh.	3,5	2,5	25.05	12–14		Лилово-розовая / Lilac-pink	0,8–1,0	15–18
Сирень Комарова поникающая *Syringa komarowii* C.K. Schneid. ssp. *reflexa*	2,5	2,0	30.05	14–15		Розовая / Pink	0,8–1,0	15–18
Сирень пушистая *Syringa pubescens* Turcz.	3,0	2,0	30.05	9–13		Розово-лиловая / Pink-purple	0,8–1,0	10–12
Сирень бархатистая *Syringa velutina* Kom.	3,0	2,0	31.05	9–13		Лилово-розовая / Lilac-pink	0,5-0,8	15-18
Сирень обыкновенная *Syringa vulgaris* L.	5,0	3,0	05.05	12–15		Лиловая / Purple	1,0–1,5	15–18
Сорта сирени обыкновенной:								
‘Агидель’/ ‘Agidel`’	4,0	2,5	19.05	10–15	Простой / simple	Белая / White	3,0–3,8	18–20
‘Айгуль’/ ‘Ajgul`’	3,5	2,0	17.05	10–14	Махровый / double	Бело-розовая / White and pink	2,5–2,8	15–19
‘Алеша’/ ‘Alesha’	3,0	2,0	24.05	11–15	Простой / Simple	Темно-винно-красная / Dark wine red	2,0–2,5	18–20
‘Алексей Маресьев’/ ‘Aleksej Mares`ev’	3,0	2,5	16.05	10–14		Голубовато-лиловая / Bluish-purple	2,0–2,5	20–25

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
‘Великая Победа’/ ‘Velikaya Pobeda’	3,0	2,5	16.05	10–15	Махровый / Double	Голубовато-лиловая / Bluish-purple	2,5–2,8	22–27
‘Вечерняя Москва’/ ‘Vechernyaya Moskva’	4,0	2,0	14.05	10–15		Голубовато-лиловая / Bluish-purple	2,2–2,5	20–25
‘Гульназира’/ ‘Gul`nazira’	3,5	2,0	14.05	12–15	Простой / Simple	Лилово-розовая / Lilac-pink	2,5–3,0	20–25
‘Знамя Ленина’/ ‘Znamya Lenina’	3,5	2,5	25.05	12–15		Красновато-лиловая / Reddish purple	2,0–2,2	20–22
‘Защитникам Бреста’/ ‘Защитникам Бреста’	3,0	2,0	23.05	14–16	Махровый / Double	Белая / White	2,0–2,5	17–22
‘Изобилие’/ ‘Izobilie’	4,0	2,5	15.05	12–14		Лиловая / Purple	2,0–2,5	15–25
‘Космос’/ ‘Kosmos’	4,0	2,5	20.05	12–15	Простой / Simple	Фиолетовая / Violet	2,0–2,5	18–25
‘Красавица Москвы’/ ‘Krasavicza Moskvy`	3,5	2,5	15.05	14–20	Махровый / Double	Розовато-белая / Pinkish white	2,5–3,0	22–25
‘Михайло Ломоносов’/ ‘Mixajlo Lomonosov’	3,0	2,0	18.05	15–20		Лилово-розовая / Lilac-pink	2,5–3,0	22–27
Московский университет’/ ‘Moskovskij universitet’	3,5	2,5	15.05	12–14		Розово-лиловая / Pink-purple	2,0–2,5	17–24
‘Мулатка’/ ‘Mulatka’	3,0	2,0	12.05	14–17	Простой / Simple	Пурпурно-лиловая с шоколадным оттенком / Purple-lilac with chocolate tint	2,0–2,5	15–18
‘Нафиса’/ ‘Nafisa’	3,0	2,0	18.05	12–15		Розовая / Pink	2,5–2,7	18–22
‘Невеста' / ‘Nevesta'	3,5	2,5	12.05	12–15		Розовая / Pink	2,0–2,5	15–18
‘Огни Донбасса’/ ‘Ogni Donbassa	3,0	2,5	17.05	12–15	Махровый/ Double	Пурпурно-лиловая / Purple-lilac	2,0–2,5	18–20
‘Олимпиада Колесникова’/ ‘Olimpiada Kolesnikova’	4,0	2,0	17.05	12–16		Лилово-розовая / Lilac-pink	2,5–3,0	20–27
‘Оля’/ ‘Olya’	3,0	2,0	18.05	14–17	Простой / Simple	Голубовато-лиловая / Bluish-lilac	2,5–3,0	17–25
‘Останкино’/ ‘Ostankino’	3,5	2,5	17.05	12–15		Лилово-голубая / Lilac-blue	2,5–3,0	22–25
‘Салават Юлаев’/ ‘Salavat Yulaev’	3,0	2,5	13.05	18–21	Махровый/ Double	Пурпурно-лиловая / Purple-lilac	2,5–3,5	22–27
‘Снежный ком’/ ‘Snezhny`j kom’	2,5	2,0	19.05	12–14	Простой / Simple	Белая / White	2,0–2,5	17–20
‘Суворовец’/ ‘Suvorovecz’	2,5	1,5	18.05	12–17		Красновато-пурпурная / Reddish purple	2,0–2,5	15–20
‘Шаура’/ ‘Shaura’	3,0	2,0	21.05	15–18		Темно-винно-красная / Dark wine red	2,5–3,0	18–22
‘Школьница’/ ‘Shkol`nicza’	1,8	1,2	16.05	12–14		Голубовато-лиловая / Bluish-lilac	2,0–2,2	15–19

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
‘Ami Schott’	4,0	3,0	18.05	12–15	Махровый / Double	Кобальтово-синяя / Cobalt blue	2,2–2,5	20–25
‘Andenken an Ludwig Spaeth‘	4,0	2,5	20.05	14–16	Простой / Simple	Красновато-пурпурная / Reddish purple	2,0–2,5	20–25
‘Belle de Nancy’	3,0	2,0	17.05	12–14	Махровый / Double	Лилово-розовая / Lilac-pink	2,0–2,2	20–25
‘Capitaine Baltet’	2,5	2,0	16.05	12–15	Простой / Simple	Розово-лиловая / Pink-purple	2,5–2,7	20–25
‘Cavour’	3,0	2,0	16.05	10–15		Фиолетовая / Violet	2,0–2,5	18–25
‘Charles X’	3,5	2,5	16.05	12–14		Лилово-фиолетовая / Lilac-violet	1,5–2,0	18–25
‘Condorcet’	4,0	2,5	18.05	12–15	Полумахровый / Semidouble	Голубовато-лиловая / Bluish-lilac	1,5-1,7	20-22
‘Exellent’	4,0	2,5	17.05	10–14	Простой / Simple	Белая / White	2,5–3,0	25–28
‘Jeanne d’Arc’	3,5	2,5	18.05	12–15	Махровый / Double	Белая / White	2,0–2,5	17–22
‘Jules Simon’	4,0	2,5	20.05	11–15		Лиловато-голубая / Lilac-blue	2,5–2,7	18–25
‘Katherine Havemeyer’	4,0	2,5	16.05	12–16		Лилово-розовая / Lilac-pink	2,5–3,0	22–25
‘Marechal Fosh’	4,0	2,0	18.05	12–14	Простой / Simple	Розово-лиловая / Pink-purple	2,5–3,0	22–25
‘Marie Legraye’	3,5	2,0	19.05	12–14		Белая / White	1,5–2,0	18–20
‘Michel Buchner’	3,5	2,5	14.05	12–16	Махровый / Double	Голубовато-лиловая / Bluish-lilac	1,5–2,0	22–25
‘Miss Ellen Willmott’	3,5	2,0	18.05	12–15		Белая / White	1,5–2,0	18–20
‘Mme Antoine Buchner’	4,0	3,0	16.05	12–16		Бело-розовая / White and pink	2,5–2,7	22–27
‘Mme Lemoine’	3,5	2,5	18.05	12–17		Белая / White	2,5–2,7	20–27
‘Mrs. Edward Harding’	4,0	3,0	15.05	14–16		Розово-пурпурная / Pink-purple	2,2–2,5	20–25
‘Paul Hariot’	2,5	2,0	20.05	15–18		Фиолетово-красная / Purple-red	2,0–2,5	18–20
‘President Grevy’	3,5	2,5	18.05	12–15	Полумахровый / Semidouble	Лилово-голубая / Lilac-blue	2,0–2,5	20–22
‘President Poincare’	4,0	2,5	18.05	15–17	Махровый / Double	Лилово-пурпурная / Lilac-purple	2,5–3,0	20–25
‘Romance’	3,5	2,0	16.05	12–16	Простой / Simple	Розовая / Pink	2,0–2,5	20–25
‘Ruhm von Horstenstein‘	4,0	3,0	20.05	12–15		Красновато-лиловая / Reddish purple	2,5–3,0	20–25
‘Sensation’	3,0	2,0	15.05	12–15		Пурпурная с белой каймой / Purple with white border	2,5–3,0	20–25
‘Souvenir d’Alice Harding’	3,0	2,0	20.05	12–14	Махровый / Double	Белая / White	2,5–3,0	18–20

В ландшафтном дизайне сирень, особенно ее сорта, используется в озеленении скверов, улиц и парков, а также в создании групп и солитеров на газонах. В группах сирень удачно сочетается с другими декоративными кустарниками – спиреями, бирючиной, дейцией, низкорослыми чубушниками. Некоторые виды также хорошо подходят для солитерных посадок: сирени венгерская и Звегинцова хороши как в цветущем состоянии, так и по окончании периода цветения благодаря своей крупной блестящей листве. Сирени прекрасно смотрятся в аллейных посадках. Из видов сиреней для этого особенно подходят сирени пушистая, гималайская и Звегинцова, отличающиеся компактной формой кроны и обильным цветением. Сирень амурская также может использоваться в крупных аллеях, особенно двурядных. Для изгородей хорошо подходят сирени обыкновенная, Звегинцова, пушистая, гималайская, венгерская, бархатистая. Практически все виды сирени характеризуются плотной кроной и не нуждаются в тщательной и ежегодной обрезке; только у сирени обыкновенной необходимо ежегодно удалять корневую поросль. Использование в аллейных посадках сортов сирени имеет некоторые ограничения: они требуют бóльшего ухода, чем виды.

Использование различных по срокам цветения видов и сортов сирени позволяет продлить общую продолжительность цветения сирени до 1,5 месяцев и более. В условиях Башкирского Предуралья первыми начинают цвести сирени обыкновенная и гиацинтоцветная, а также их сорта (первая – вторая декада мая), к среднецветущим (с конца мая по вторую декаду июня) относятся большинство других видов, позже всех видов сирени зацветает сирень амурская (вторая декада июня). На сроки начала цветения и общую продолжительность этой фазы влияют погодные условия весны: чем выше температура и меньше влажность, тем быстрее начинают цвести и быстрее заканчивают цветение большинство видов и сортов в коллекции.

Заключение. В результате изучения коллекции 260 таксонов сирени Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН выделены 10 видов, 52 сорта сирени обыкновенной и 3 сорта сирени гиацинтоцветной, успешно прошедших акклиматизацию и стабильно проявляющих декоративные признаки по максимальным показателям. Все они абсолютно зимостойки, ежегодно обильно цветут и являются устойчивыми к климатическим условиям Республики Башкортостан. На основе многолетних комплексных интродукционных исследований данные таксоны сирени могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в озеленении населенных пунктов Башкирского Предуралья и сопредельных регионов.

Список литературы

1. DeBard Mark L. An Updated Taxonomy of Genus Syringa (Lilacs). Lilacs. Quarterly journal a publication of the International Lilac Society. 2019;49(4):153–167. URL: https://internationallilacsociety.org-public-register/

2. Демиденко Г. А. Использование сирени (*Syring*a) и ее видов в агроценозах паркового типа при озеленении Красноярска. Вестник ИрГСХА. 2020;(99):47–55. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44167021 EDN: QHGQFD

3. Карпухин М. Ю., Абрамчук А. В. Особенности применения сирени в ландшафтном дизайне. Аграрное образование и наука. 2020;(2):7. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=AFPDBJ EDN: AFPDBJ

4. Солтани Г. А., Маляровская В. И., Кувайцев М. В. Интродукция представителей рода Syringa L. в зону влажных субтропиков России. Субтропическое и декоративное садоводство. 2020;(73):79–89. Режим доступа: https://journal.subtropras.ru/archive/73/11/ EDN: ZVNNAL

5. Меркер В. В. Интродукция видов и сортов сирени в Челябинской области. Syringa L.: коллекции, выращивание, использование: сб. науч. статей. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. С. 60–65. DOI: https://doi.org/10.24412/cl-36596-2021-2-60-65 EDN: ZEXCSJ

6. Семенютина А. В., Ноянова Н. Г. Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019;(6):146–159. DOI: https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.146 EDN: OOGSRH

7. Вышегуров С. Х., Беланова А. П., Пономаренко Н. В., Пальчикова Е. В., Иванова Н. В., Еремена А. А., Сергеева А. С. Эколого-биологические аспекты оценки древесных растений в озеленении Новосибирска. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021;(1): 17–26. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-17-26 EDN: VJGHXS

8. Сунгурова Н. Р. Кустарники в ландшафтной архитектуре городов Приарктического региона. Достижения науки и технологий-ДНиТ-2021: сб. науч. статей по мат. Всеросс. науч. конф. Красноярск: изд-во Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2021. С. 8–12. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=nxoved EDN: NXOVED

9. Клименко Н. И., Потапенко И. Л. Декоративные кустарники для зеленых насаждений Керченско-Феодосийского региона. Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование: мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2022. С. 319–325. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=kgkfqn EDN: KGKFQN

10. Терешкин А. В., Евсеева К. А. Анализ и оценка возможности расширения ассортимента деревьев и кустарников в зеленых насаждениях общего пользования Левобережья Саратовской области. Наукосфера. 2022;(1-2):1–6. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5910011 EDN: IZQQVB

11. Синогейкина Г. Э., Клементьева Л. А. Создание биоразнообразия озеленительного ассортимента природных зон и подзон Алтайского края. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024;(5(109)):115–120. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-115-120 EDN: JTVOAK

12. Чебанная Л. П. Интродукция декоративных кустарников и перспективы их использования в озеленении. Природообустройство. 2024;(3):134–140. DOI: https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-134-140 EDN: UBUDUH

13. Полякова Н. В. Виды сирени и перспективы их использования в озеленении в Республике Башкортостан. Плодоводство и ягодоводство России. 2019;58:58–65. DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-58-58-65 EDN: ALRMSR

14. Полякова Н. В., Шигапов З. Х. Динамика фенологических показателей некоторых видов сирени в условиях изменения климата. Сибирский экологический журнал. 2023;30(2):186–195. DOI: https://doi.org/10.15372/SEJ20230208 EDN: EYMHIE

15. Минин А. А., Ананин А. А., Буйволов Ю. А., Ларин Е. Г., Лебедев П. А., Поликарпова Н. В., Прокошева И. В., Руденко М. И., Сапельникова И. И., Федотова В. Г., Шуйская Е. А., Яковлева М. В., Янцер О. В. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России. Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020;5(4):89–110. DOI: https://doi.org/10.24189/ncr.2020.060 EDN: WLAFWF

16. Лапин П. И., Александрова М. С., Бородина Н. А., Макаров С. Н., Петрова И. П., Плотникова Л. С., Сиднева С. В., Стогова Н. В., Шербацевич В. Д., Якушина Э. И. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.

17. Щербакова Г. В., Логинова С. Ф., Виноградова Н. Г. Приемы выращивания саженцев сирени в условиях Ленинградской области. Современное садоводство. 2024;(4):88–100. Режим доступа: https://elibrary.ru/qiqihs EDN: QIQIHS

18. Heinze W., Schreiber D. Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa (A new mapping of the hardiness zones for woody plants in central Europe). Mittelungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft. 1984;75:11–56.

19. Jin L., Sun J., Jin M., Jin C., Diao S., Zhou W., Gao Li. Chemical components from Syringa reticulata (Bl.) Hara. Biochemical systematics and ecology. 2020;89:103986. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bse.2019.103986

20. Zhu W., Wang Zh., Sun Ya., Yang B., Wang Q., Kuang H. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of genus Syringa: A comprehensive review. Journal of Ethnopharmacology. 2021:266:113465. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113465

21. Пупыкина К. А., Полякова Н. В., Кудашкина Н. В., Красюк Е. В. Сравнительный анализ компонентного состава цветков некоторых представителей рода Syringa (Oleaceae). Растительные ресурсы. 2023;59(2):152–163. DOI: https://doi.org/10.31857/S0033994623020103 EDN: ZNMJET

References

1. DeBard Mark L. An Updated Taxonomy of Genus Syringa (Lilacs). Lilacs. Quarterly journal a publication of the International Lilac Society. 2019;49(4):153–167. URL: https://internationallilacsociety.org-public-register/

2. Demidenko G. A. Use of lilac (Syringa) and its species in agrocenosis of the park type in landscaping Krasnoyarsk. *Vestnik IrGSKhA.* 2020;(99):47–55. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44167021

3. Karpukhin M. Yu., Abramchuk A. V. Application features lilac in landscape design. *Agrarnoe obrazovanie i nauka* = Agrarian education and science. 2020;(2):7. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=AFPDBJ

4. Soltani G. A., Malyarovskaya V. I., Kuvaytsev M. V. Introduction of Syringa L. representatives in the humid subtropical zone of Russia. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* = Subtropical and ornamental horticulture. 2020;(73):79–89. (In Russ.). URL: https://journal.subtropras.ru/archive/73/11/

5. Merker V. V. Introduction of species and cultivars of the genus syringa l. in the Chelyabinsk region. Syringa L.: collections, cultivation, use: collection of scientific articles. Saint-Petersburg: *Izd-vo SPbGETU «LETI»*, 2021. pp. 60–65. DOI: https://doi.org/10.24412/cl-36596-2021-2-60-65

6. Semenyutina A. V., Noyanova N. G. Regional specificity of urban greening at the residential areas of the southern arid steppe zone. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* = Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2019;(6):146–159. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.146

7. Vyshegurov S. Kh., Belanova A. P., Ponomarenko N. V., Palchikova E. V., Ivanova N. V., Eremena A. A., Sergeeva A. S. Ecological and biological aspects of assessing woody plants in the landscaping of Novosibirsk. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021;(1):17–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-17-26

8. Sungurova N. R. Shrubs in the landscape architecture of the cities of the arctic region. Achievements of science and technology-Init-2021: collection of scientific articles on Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. Krasnoyarsk: *izd-vo Obshchestvennoe uchrezhdenie "Krasnoyarskiy kraevoy Dom nauki i tekhniki Rossiyskogo soyuza nauchnykh i inzhenernykh obshchestvennykh ob"edineniy"*, 2021. pp. 8–12.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=nxoved

9. Klimenko N. I., Potapenko I. L. Ornamental shrubs for green spaces of the Kerch-Feodosiya region. Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. Simferopol': *OOO «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial»*, 2022. pp. 319–325.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=kgkfqn

10. Tereshkin A. V., Evseeva K. A. Analysis and evaluation of the possibility of expanding the range of trees and shrubs in public green spaces of the left bank of the Saratov region. *Naukosfera*. 2022;(1-2):1–6. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5910011

11. Sinogeykina G. E., Klementyeva L. A. Creation of biodiversity of the greening assortment of natural zones and subzones of the Altai territory. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2024;(5(109)):115–120. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-115-120

12. Chebannaya L. P. Introduction of ornamental shrubs and prospects for their use in landscaping. *Prirodoobustrojstvo*. 2024;(3):134–140. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-134-140

13. Polyakova N. V. Lilac species recommended for greening in the republic of Bashkortostan. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2019;58:58–65. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-58-58-65

14. Polyakova N. V., Shigapov Z. Kh. Dynamics of phenological indicators of some lilac species under climate change. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2023;30(2):186–195. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15372/SEJ20230208

15. Minin A. A., Ananin A. A., Buyvolov Yu. A., Larin E. G., Lebedev P. A., Polikarpova N. V., Prokosheva I. V., Rudenko M. I., Sapelnikova I. I., Fedotova V. G., Shuyskaya E. A., Yakovleva M. V., Yantser O. V. Recommendations to unify phenological observations in Russia. Nature Conservation Research. *Zapovednaya nauka.* 2020;5(4):89–110. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24189/ncr.2020.060

16. Lapin P. I., Aleksandrova M. S., Borodina N. A., Makarov S. N., Petrova I. P., Plotnikova L. S., Sidneva S. V., Stogova N. V., Sherbatsevich V. D., Yakushina E. I. Woody plants of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences. Moscow: *Nauka*, 1975. 547 p.

17. Shcherbakova G. V., Loginova S. F., Vinogradova N. G. Methods of growing lilac seedlings in conditions of the Leningrad region. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2024;(4):88–100. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/qiqihs

18. Heinze W., Schreiber D. Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa (A new mapping of the hardiness zones for woody plants in central Europe). Mittelungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft. 1984;75:11–56.

19. Jin L., Sun J., Jin M., Jin C., Diao S., Zhou W., Gao Li. Chemical components from Syringa reticulata (Bl.) Hara. Biochemical systematics and ecology. 2020;89:103986. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bse.2019.103986

20. Zhu W., Wang Zh., Sun Ya., Yang B., Wang Q., Kuang H. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of genus Syringa: A comprehensive review. Journal of Ethnopharmacology. 2021:266:113465.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113465

21. Pupykina K. A., Polyakova N. V., Kudashkina N. V., Krasyuk E. V. Comparative analysis of the component composition of flowers in some species of the genus *Syringa* (Oleaceae). *Rastitel'nye resursy*. 2023;59(2):152–163. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0033994623020103

Сведения об авторе

✉ **Полякова Наталья Викторовна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Менделеева, д. 195, корп. 3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3717-0308, e-mail: barhan93@yandex.ru

Information about the author

✉ **Natalya V. Polyakova,** PhD in Biology, senior researcher, South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 195 Mendeleev St., Building 3, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3717-0308, e-mail: barhan93@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.295–305
УДК 58.04:58.085+630*232.13

Изучение влияния NaCl на межвидовые гибриды *Populus* L. в условиях *in vitro*

© 2025. Т. В. Терещенко, О. О. Жолобова, И. В. Могилевская✉
ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Российская Федерация

В условиях аридизации климата и опустынивания территорий, приводящих к вторичному засолению почв, все больше земель подвергается преждевременной деградации и дальнейшему выводу их из сельскохозяйственного использования. Моделирование стресс-факторов в культуре in vitro для отбора толерантных линий солеустойчивых генотипов древесных видов способствует ускорению селекционного процесса. В исследовании изучено влияние NaCl на морфогенез растений-регенерантов межвидовых гибридов F1 тополя (Populus L.) и проведен отбор потенциально солеустойчивых генотипов в условиях in vitro. После проведения контролируемого скрещивания отобранных родительских линий с хозяйственно полезными признаками (Populus deltoides × P. alba; P. nigra f. piramidalis × P. alba; P. deltoides × P. bolleana f. piramidalis) методом изолированных зародышей получены и размножены асептические экспланты межвидовых гибридов в культуре in vitro. На селективных средах с NaCl в концентрациях 0,2; 0,5; 1,0 % протестировано 16 генотипов по 10 клонов в трех повторностях. Определены доля выживших и регенерирующих эксплантов, частота ризогенеза и процент хлороза среди исследуемых образцов, количество и длина побегов, количество узлов, коэффициент размножения. Ингибирующее действие солевого стресса проявлялось в торможении морфогенеза – отсутствие процессов ризогенеза, хлороза, частичная деформация и некротизация листовых пластин. Доза 0,5 % NaCl была определена сублетальной, 1 % – летальной. Среди 16 исследуемых генотипов 4 имели высокий процент выживших эксплантов (96,2–96,7 %), два из которых сохраняли высокую регенерацию (82,6–96,6 %) на сублетальной концентрации селективного агента. Полученные результаты свидетельствуют о том, что тестирование в условиях in vitro на устойчивость к NaCl является перспективным инструментом для ускорения селекционного процесса и отбора потенциально толерантных к абиотическому стресс-фактору генотипов для дальнейших полевых испытаний.

Ключевые слова: *солеустойчивость, селекция, культура тканей, тополь, сублетальная концентрация, регенеранты*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (тема № FNFE-2025-0010, рег. № 125021402244-3).

Авторы благодарят сотрудников лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» за исходный селекционный материал.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Терещенко Т. В., Жолобова О. О., Могилевская И. В. Изучение влияния NaCl на межвидовые гибриды *Populus* L. в условиях *in vitro*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):295–305.

DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.295-305

Поступила: 17.01.2025 Принята к публикации: 20.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

In vitro study of the effect of NaCl on interspecific *Populus* L. hybrids

© 2025. Tatyana V. Tereshchenko, Olga O. Zholobova, Irina V. Mogilevskaya✉
Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

In conditions of climate aridisation and desertification of territories leading to secondary soil salinisation, more and more lands are subjected to premature degradation and their further withdrawal from agricultural use. In vitro modelling of stress factors for selection of tolerant lines of salt-tolerant genotypes of tree species helps to accelerate the breeding process. In the study, the effect of NaCl on morphogenesis of regenerant plants of poplar F1 interspecific hybrids (Populus L.) was investigated, and in vitro selection of potentially co-tolerant genotypes was carried out. After controlled crossing of selected parental lines with economically useful traits (Populus deltoides × P. alba; P. nigra f. piramidalis × P. alba; P. deltoides × P. bolleana f. piramidalis) by the method of isolated embryos, aseptic explants of interspecific hybrids were obtained and micropropagated. Sixteen genotypes of 10 clones each were tested on selective media with NaCl at concentrations of 0.2; 0.5;1.0 % in three replicates. The ratio of surviving and regenerating explants, the frequency of rhizogenesis and the percentage of chlorosis among the tested accessions, as well as shoot length and number, multiplication factor and number of nodes were determined. The inhibitory effect of salt stress was manifested in the inhibition of morphogenesis, including the absence of rhizogenesis processes, chlorosis, partial deformation and necrosis of leaf plates. A dose of 0.5 % NaCl was determined to be sublethal and 1 % was lethal. Among the sixteen genotypes tested, 4 genotypes had high % of surviving explants (96.2–96.7 %), two of which maintained high % regeneration (82.6–96.6 %) at sublethal concentration of selective agent. These results suggest that in vitro

testing for NaCl tolerance is a promising tool for accelerating the breeding process and selecting potentially tolerant genotypes to the abiotic stress factor for further field trials.

Keywords: *salt resistance, breeding, tissue culture, poplar, sublethal concentration, regenerants*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNFE-2025-0010, no. 125021402244-3).

The authors thank the staff of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation) for the initial breeding material.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest.

For citation: Tereshchenko T. V., Zholobova O. O., Mogilevskaya I. V. *In vitro* study of the effect of NaCl on interspecific *Populus* L. hybrids. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):295–305. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.295-305

Received: 17.01.2025 Accepted for publication: 20.03.2025 Published online: 29.04.2025

В условиях глобального изменения климата абиотические стресс-факторы засуха и засоление являются наиболее распространенными, оказывающими негативное влияние на развитие и продуктивность лесных древесных культур [1, 2]. В настоящее время в мире более 20 % территорий сельскохозяйственного назначения считаются засолёнными и щелочными [3, 4]. Воздействие солевого стресса приводит к осмотическому стрессу растений, негативно влияет на их физиологические и биохимические процессы, нарушая поглощение жизненно необходимых макро- и микроэлементов (азот, фосфор, калий, кальций и др.), что приводит к изменению роста и развития растений [3, 5]. Засоление почвы является одной из причин снижения урожайности и значительных ежегодных экономических потерь [6]. Поэтому одной из актуальных задач современной селекции остается поиск и создание форм и сортов экономически важных растений, устойчивых к абиотическим стресс-факторам окружающей среды.

Согласно классификации, род *Populus* L. (сем. *Salicaceae* Mirb.) разделен на 6 секций и насчитывает 29 видов быстрорастущих листопадных древесных растений. Ареал распространения – разные климатические зоны северного полушария и тропические районы Африки [7]. Представители *Populus* являются экономически важными и хозяйственно ценными древесными культурами. Эти растения служат исходным материалом в производстве древесины, бумаги и волокна, используются в медицинских целях, благодаря высокому содержанию фенольных соединений. Глубокая корневая система позволяет использовать тополя для противоэрозионных мероприятий и в качестве мелиоранта при создании защитных лесополос, эти виды способствуют улучшению микроклимата [7]. Селекция представителей рода *Populus*, а также разработка и оптимизация эффективных протоколов оценки устойчивости растений к негативным факторам среды (засуха, засоление) актуальны сегодня и интересны для исследований.

Экспресс-оценка устойчивости растений к различным абиотическим стресс-факторам с помощью биотехнологических методов имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными, и сегодня все чаще применяется в процессе селекции [8, 9, 10]. Использование культуры *in vitro* дает возможность в 2-3 раза ускорить создание новых форм и сортов хозяйственно ценных растений с экономией материальных затрат и занимаемых площадей, а также сохранить и воспроизводить посадочный материал [11, 12, 13].

Среди исследований по устойчивости к стресс-факторам часто встречаются результаты по видам и сортам злаковых и овощных культур. Но в последние годы все больше внимания ученые стали уделять селекции некоторых древесных видов в культуре *in vitro*, в том числе видов и сортов *Populus* [14, 15]. В работах А. А. Эрст с соавторами было изучено влияние NaCl в диапазоне концентраций от 0,29 до 1,4 % на регенеранты и каллусные культуры межвидового гибрида (*P. alba* × *P. Bolleana)* × *P. tremula.* Устойчивость зависела как от исследуемой культуры, каллусные ткани которой были более восприимчивы к стресс-фактору, чем регенеранты, так и от генотипических различий [8, 9]. Культура изолированных органов и тканей *in vitro* все чаще применяется как тестовая система для оценки воздействия негативных абиотических стрессов.

Цель исследования – изучить влияние солевого стресса, вызванного хлоридом натрия

(NaCl), на морфогенез микропобегов гибридов F_1 тополя (*Populus* L.) в условиях *in vitro* и отобрать потенциально устойчивые генотипы к изучаемому стресс-фактору.

Научная новизна – впервые проведены исследования по изучению влияния NaCl в культуре *in vitro* на полученном исходном селекционном материале межвидовых гибридов *Populus*, выделены устойчивые к моделируемым условиям засоления генотипы.

Материалы и методы. В качестве объектов служили межвидовые гибриды *Populus* F_1, полученные в лаборатории селекции и семеноводства ФНЦ агроэкологии РАН методом опыления на срезанных ветвях [8]. В результате трех комбинаций контролируемого скрещивания отобранных родительских пар [16] (*P. deltoides* × *P. alba* (F_1-3), *P. nigra* f. *piramidalis* × *P. alba* (F_1-5), *P. deltoides* × *P. bolleana* f. *piramidalis* (F_1-7)) были получены незрелые семена *Populus* F_1. Далее методом изолирования незрелых зародышей [10] получили и размножили стерильную культуру генотипов *Populus* F_1 в условиях *in vitro* (рис. 1).

Рис. 1. **Введение в культуру *in vitro* межвидовых гибридов *Populus* F_1: А – незрелые коробочки, полученные после проведения контролируемого скрещивания; Б – изолированный зародыш; В – регенеранты тополей на 30-е сутки /**

Fig. 1. **Introduction of interspecific hybrids *Populus* F_1 into *in vitro* culture: A – immature capsules obtained after controlled crossing; B – isolated embryo; C – poplar regenerants on the 30th**

Для сохранения исходного селекционного материала всем регенерантам, полученным из зародышей, был присвоен номер генотипа (g1, g2…), после микроклонального размножения отдельных генотипов отобрали 16 (8 генотипов F_1-3, 7 генотипов F_1-5 и 1 генотип F_1-7, единственный полученный регенерант из зародыша в этой комбинации скрещивания) с высоким регенерационным потенциалом для тестирования на экспериментальных средах. В качестве селективного агента в состав питательной среды по прописи Мурасиге и Скуга (MS) [17] добавляли хлорид натрия (NaCl) в концентрациях 0,2; 0,5 и 1,0 %. Далее в пробирки с 15–20 мл селективной питательной среды помещали микропобеги *Populus* F_1 размером 1,8–2,5 см (по 10 клонов каждого генотипа в 3-кратной повторности). В качестве контроля использовали питательную среду MS без добавления NaCl.

Для определения летальной и сублетальной концентрации, а также отбора генотипов *Populus* F_1, устойчивых к моделируемым условиям солевого стресса, после 8 недель культивирования отмечали следующие параметры: процент выживших образцов; процент регенерирующих образцов; процент образцов с хлорозом, частоту спонтанного ризогенеза; длину побега; число узлов; коэффициент размножения. Культивирование осуществляли на фитостеллажах STELLAR FITO Line («ABTex», Россия) при 16-часовом фотопериоде, освещенности 70 мкмоль/м$^{-2}$с$^{-1}$ и температуре 23±2 °С.

Обработку полученных экспериментальных данных осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с использованием НСР-теста Фишера / Fisher (LSD-test ANOVA OneWay).

Результаты и их обсуждение. При исследовании 16 генотипов *Populus* F_1 действие солевого стресса (NaCl 0,2; 0,5; 1,0 %) сказывалось в ингибировании процессов морфогенеза, проявлении хлороза и некротизации листовых пластин. На гистограммах (рис. 2, 3) представлены средние значения анализируемых параметров у генотипов *Populus* F_1, культивируемых на средах с селективным агентом в разных концентрациях.

У всех исследуемых генотипов в контроле были отмечены высокие показатели процессов морфогенеза, процент укорененных микропобегов на безгормональной среде без дополнительного введения ауксинов составил 70,1 %.

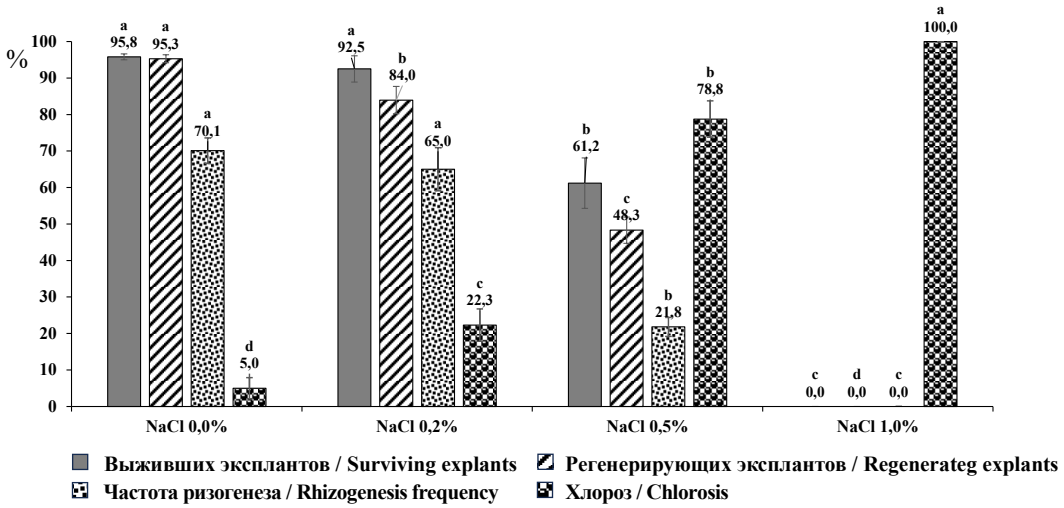


Рис. 2. **Влияние хлоридного засоления на выживаемость, регенерацию и частоту ризогенеза эксплантов *Populus* F_1.** Разные буквы в столбцах одного параметра показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при p<0,05 /

Fig. 2. **Effect of chloride salinity on survival, regeneration and rhizogenesis rate of *Populus* F_1 explants.** Different letters in the columns of one parameter indicate statistically significant differences according to the Fisher LSD-test at p<0.05

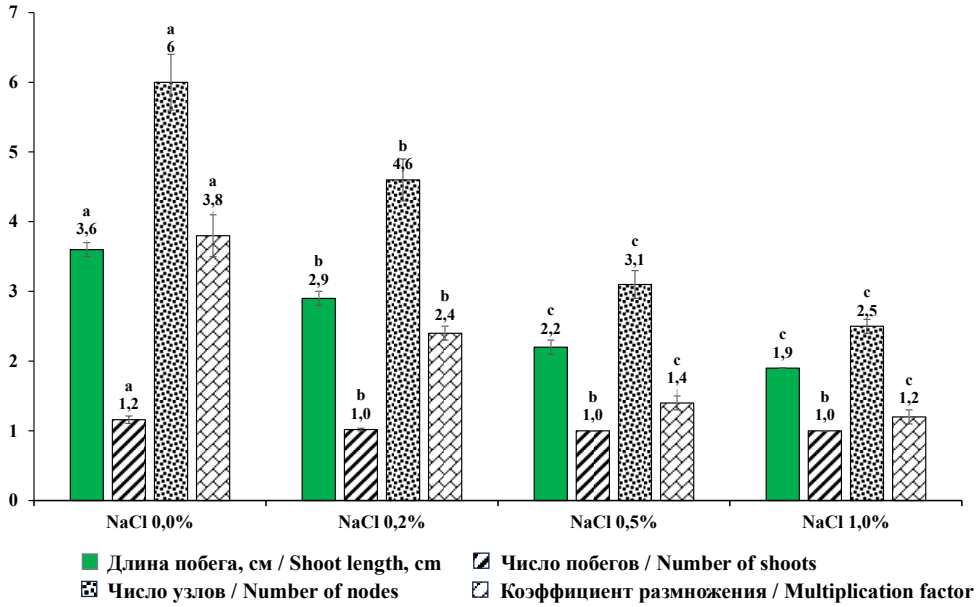


Рис. 3. **Влияние хлоридного засоления на морфометрические показатели генотипов *Populus* F_1.** Разные буквы в столбцах одного параметра показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при p<0,05 /

Fig. 3. **Effect of chloride salinity on morphometric traits of *Populus* F_1 genotypes.** Different letters in the columns of one parameter indicate statistically significant differences according to the Fisher LSD-test, at p<0.05

Хлороз выявили у 5 % образцов в листьях основания побега, вызванный скорее перекрыванием листовых пластин и отсутствием света, а не ограничением питательных элементов, вновь образованные верхушечные листья имели нормальную морфологию.

Добавление в селективную среду NaCl в концентрации 0,2 % постепенно снижало все показатели, процент выживших эксплантов находился на уровне контрольной группы, в отличие от процессов регенерации, которые сократились на 11,3 % и проявились в снижении длины побега и количества узлов в 1,2 и 1,3 раза, в уменьшении количества укорененных микропобегов. Реакция на стресс-фактор проявилась бледно-зеленой, желтоватой окраской верхушечных листьев, у неукорененных эксплантов процент хлороза вырос в 4 раза (22,3 %) (рис. 2, 3, 4).

Внесение 1,0 % NaCl оказалось губительным для всех исследуемых генотипов. Процессы морфогенеза отсутствовали, морфометрические показатели оставались на уровне первичного эксплантa, развитие хлороза у 100 % образцов привело к полной гибели эксплантов (рис. 4). Несмотря на отсутствие статистически значимых различий по морфометрическим показателям образцов при культивировании на средах с 0,5 и 1,0 % NaCl (рис. 3), процент выживших и регенерирующих эксплантов, а также наличие процессов ризогенеза (21,8 %) на среде с 0,5 % NaCl оставались сравнительно высокие – 61,2 и 48,3 % соответственно (рис. 2).

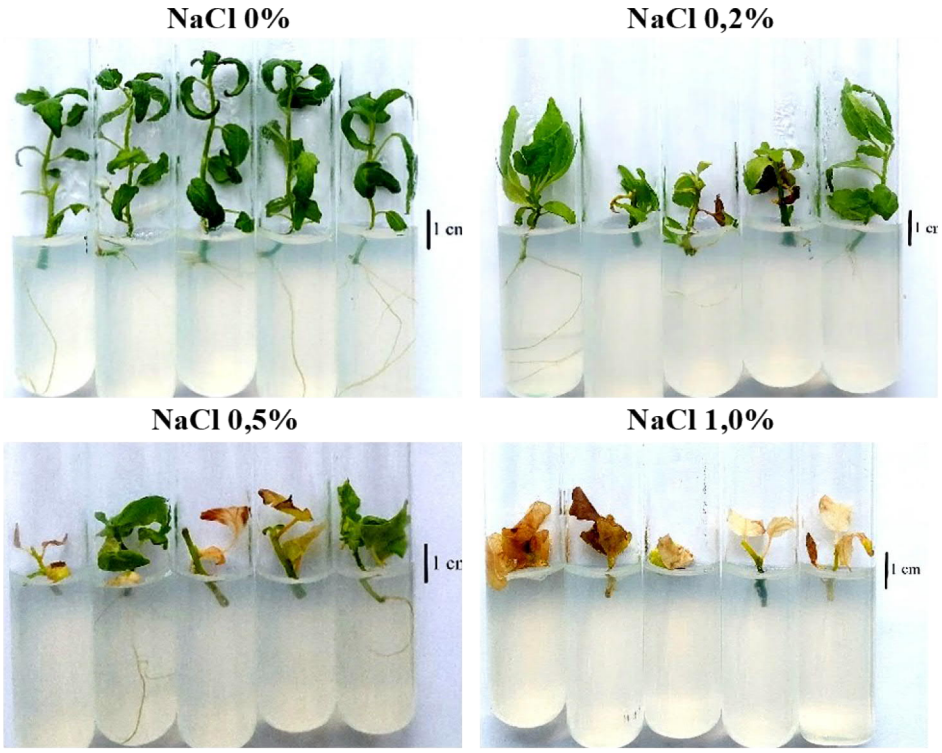


Рис. 4. **Образцы *Populus* F_1 после 8 недель культивирования *in vitro* на экспериментальных питательных средах с разным содержанием NaCl (Масштаб: 1 см) /**

Fig. 4. ***Populus* F_1 samples after grown during 8 weeks on experimental nutrient media with different NaCl contents (The scale corresponds to 1 cm)**

Таким образом, доза NaCl в концентрации 1,0 % оказалась летальной, а 0,5 % NaCl была определена как сублетальная и эффективная для дальнейшего отбора солеустойчивых генотипов *Populus*.

На рисунке 5 представлено сравнение средних значений процентов выживших, регенерирующих и укорененных микропобегов на сублетальной концентрации NaCl между генотипами в каждой комбинации скрещивания: средние значения между 8 генотипами F_1-3 (*P. deltoides* × *P. alba*), 7 генотипами F_1-5 (*P. nigra* f. *piramidalis* × *P. alba*) и 1 генотипом F_1-7 (*P. deltoides* × *P. bolleana* f. *piramidalis*). Статистически значимые различия по средним значениям анализируемых показателей между скрещиваниями F_1-3 и F_1-5 отсутствовали (рис. 5), что объясняется наличием в каждой группе как потенциально устойчивых, так и чувствительных к селективному фактору генотипов. Для генотипа F_1-7 концентрация 0,5 % NaCl являлась губительной, процент выживших составил 3,33 %. Это можно объяснить либо реакцией конкретного генотипа, либо тем, что выбранные родительские пары более чувствительны к засолению. Для F_1-3 и F_1-5 в качестве отцовской линии выбрали *P. alba,* который, по литературным данным, более устойчивый к воздействию абиотических факторов [9].

Генотипические различия по количеству выживших и способных к регенерации эксплантов, длине побега и проценту укорененных регенерантов межвидовых гибридов *Populus* представлены в таблицах 1, 2 и на рисунке 6.

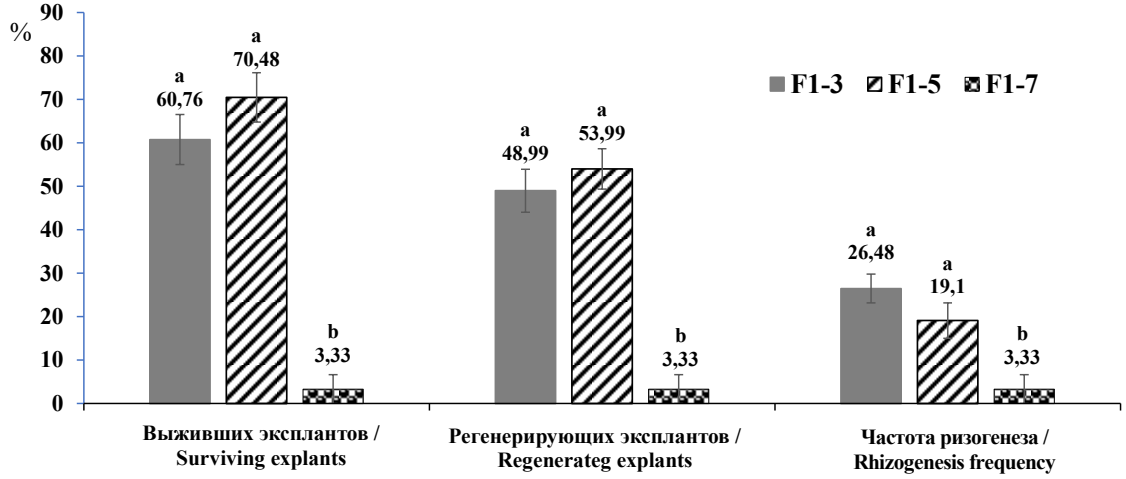


Рис. 5. **Устойчивость эксплантов к сублетальной концентрации NaCl (0,5 %) в зависимости от комбинации скрещивания *Populus* (F_1-3, F_1-5, F_1-7).** Разные буквы в столбцах одного параметра показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при p<0,05 /

Fig. 5. **Resistance of explants to sublethal concentration of NaCl (0.5 %) depending on the combination of *Populus* crossing (F1-3, F1-5, F1-7).** Different letters in columns of one parameter indicate statistically significant differences according to Fisher LSD-test at p<0.05

Таблица 1 – **Влияние сублетальной концентрации NaCl (0,5 %) в составе питательной среды на долю выживших и регенерировавших эксплантов генотипов *Populus* F_1, % /**
Table 1 – **Effect of sublethal concentration of NaCl (0.5%) in the nutrient medium on the ratio of surviving and regenerated explants of *Populus* F_1 genotypes, %**

Параметр / Parameter	*Выжившие экспланты / Survived explants*		*Регенерировавшие экспланты / Regenerated explants*	
Генотип / Genotype	*NaCl, 0 %*	*NaCl, 0,5 %*	*NaCl, 0 %*	*NaCl, 0,5 %*
F_1-3 g2	96,7±3,3a	96,7±3,3a	90,0±5,8a	33,3±3,3d
F_1-3 g4	89,6±5,8a	18,3±4,4e	96,3±3,7a	14,2±3,0ef
F_1-3 g6	93,0±3,5a	83,3±3,3b	93,0±3,5a	40,2±5,8d
F_1-3 g8	100,0±0,0a	44,8±2,9d	100,0±0,0a	41,5±1,5d
F_1-3 g11	93,3±6,7a	45,2±5,2d	93,3±6,7a	45,2±5,2d
F_1-3 g12	96,7±3,3a	63,3±3,3c	96,7±3,3a	63,3±3,3c
F_1-3 g15	94,4±5,6a	37,8±2,2d	88,9±5,6a	37,8±37,8d
F_1-3 g16	100,0±0,0a	96,7±3,3a	100,0±0,0a	96,7±3,3a
F_1-5 g3	93,3±6,7a	58,9±4,8c	93,3±6,7a	44,8±8,7d
F_1-5 g4	96,7±3,3a	63,3±3,3c	96,7±3,3a	43,3±8,8d
F_1-5 g5	93,0±3,5a	96,7±3,3a	89,3±6,4a	18,3±4,4e
F_1-5 g6	100,0±0,0a	92,6±7,4ab	100,0±0,0a	82,6±3,8b
F_1-5 g7	100,0±0,0a	58,5±1,5c	100,0±0,0a	58,9±4,8c
F_1-5 g12	93,3±6,7a	63,3±3,3c	96,7±3,3a	63,3±3,3c
F_1-5 g15	100,0±0,0a	60,0±5,8c	100,0±0,0a	66,7±3,3c
F_1-7 g2	93,3±6,7a	3,3±3,3f	90,0±5,8a	3,3±3,3f

Примечание: разные буквы в каждом столбце показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при p<0,05 /

Note: different letters in each column indicate statistically significant differences according to the Fisher LSD-test at p<0.05

Таблица 2 – **Влияние сублетальной концентрации NaCl (0,5 %) в составе питательной среды на длину побега и спонтанный ризогенез эксплантов генотипов *Populus* F_1 /**
Table 2 – **Effect of sublethal concentration of NaCl (0.5 %) in the nutrient medium on shoot length and spontaneous rhizogenesis of explants of *Populus* F_1 genotypes**

Параметр / Parameter	*Длина побега, см / Shoot length, cm*		*Спонтанный ризогенез, % / Spontaneous rhizogenesis, %*	
Генотип / Genotype	*NaCl, 0 %*	*NaCl, 0,5 %*	*NaCl, 0 %*	*NaCl, 0,5 %*
F_1-3 g2	2,3±0,1c	2,0±0,1b-d	13,7±8,8e	7,0±3,5de
F_1-3 g4	5,1±0,2a	1,4±0,2d	96,7±3,3a	30,0±5,8bc
F_1-3 g6	3,9±0,6a-c	2,6±0,2a-c	56,7±3,3d	3,3±3,3e
F_1-3 g8	2,8±0,5c	2,2±0,2a-d	46,7±3,3d	36,7±3,3b
F_1-3 g11	4,2±0,6a-c	2,0±0,1b-d	90,0±5,8ab	36,7±3,3b
F_1-3 g12	3,1±0,4bc	2,2±0,3a-d	53,3±6,7d	43,3±8,8ab
F_1-3 g15	3,0±0,2bc	2,1±0,2b-d	84,4±2,9a-c	16,7±3,3c-e
F_1-3 g16	3,4±0,5a-c	2,9±0,6a	93,3±6,7a	38,1±4,3b
F_1-5 g3	3,8±0,6a-c	2,7±0,4ab	56,7±3,3d	16,7±3,3c-e
F_1-5 g4	3,9±0,9a-c	2,0±0,3b-d	53,3±12,0d	6,7±6,7de
F_1-5 g5	3,7±0,4a-c	2,0±0,0b-d	73,3±3,3c	3,7±3,7e
F_1-5 g6	4,0±0,2a-c	2,4±0,3a-c	93,3±3,3a	13,3±6,7de
F_1-5 g7	4,5±0,8ab	2,0±0,2b-d	83,3±3,3a-c	20,0±5,8cd
F_1-5 g12	3,8±0,7a-c	2,1±0,3b-d	76,7±3,3bc	16,7±3,3c-e
F_1-5 g15	3,1±0,8bc	2,3±0,3a-c	96,7±3,3a	56,7±8,8a
F_1-7 g2	2,9±0,4bc	1,9±0,3cd	53,3±6,7d	3,3±3,3e

Примечание: разные буквы в каждом столбце показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при $p<0,05$ /

Note: different letters in each column indicate statistically significant differences according to the Fisher LSD-test at $p<0.05$

В таблицах 1 и 2 представлены средние значения измеряемых параметров по каждому генотипу, полученные в результате роста на контрольной среде и среде с сублетальной концентрацией NaCl. Максимальное количество выживших эксплантов на селективной среде отмечено у четырех генотипов *Populus* F_1: F_1-3 g2, F_1-3 g16, F_1-5 g5, F_1-5 g6 (рис. 6). Они статистически отличались по своей регенерационной способности в условиях засоления: у образца F_1-3 g16 зафиксировано максимальное количество регенерирующих эксплантов – 96,7 %, у F_1-5 g6 – 82,6 %. У генотипов F_1-3 g2 и F_1-5 g5 данный показатель составил всего 33,3 и 18,3 % соответственно (табл. 1).

Максимальную длину побега на селективной среде сформировали регенеранты F_1-3 g16 – 2,9 см и F_1-5 g6 – 2,4 см. Частота спонтанного ризогенеза в контроле и селективной среде у всех 16 генотипов проявлялась в разной степени. Среди отобранных 4 генотипов максимальный процент укоренившихся образцов на селективной среде получили у F_1-3 g16 – 38,1 % (табл. 2). Коэффициент размножения в контроле варьировал от 1,6 до 5,6 в зависимости от генотипа, а на среде с 0,5 % NaCl почти не отличался – 1,0–1,8 (рис. 7).

Результаты, полученные в ходе нашего исследования, согласуются с работами ряда авторов, изучающих влияние хлоридного засоления на морфогенез растений *in vitro*. Например, В. Вуксанович с соавт. (V. Vuksanović et al.) [15] провели оценку толерантности пяти сортов *Populus alba* к осмотическому и солевому стрессам в культуре *in vitro*, в результате которой выявлено значимое влияние генотипа, причем, как и в наших исследованиях, концентрация NaCl 100 мМ (0,58 %) была выбрана оптимальной для проведения отбора, а 150 мМ (0,87 %) – признана летальной.

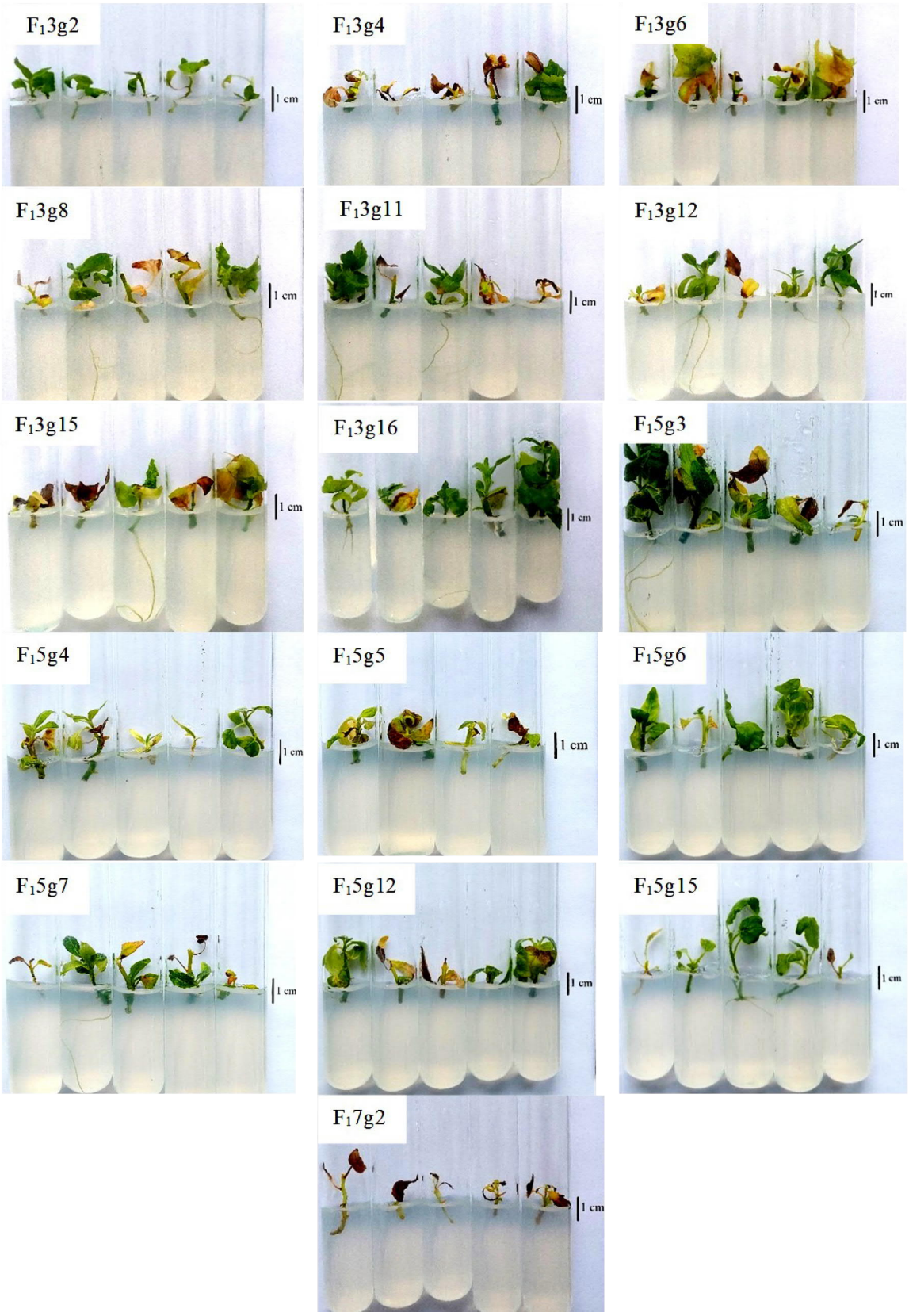


Рис. 6. **Исследуемые генотипы *Populus* F_1 после 8 недель культивирования *in vitro* на среде MS с содержанием 0,5 % NaCl /**

Fig. 6. ***Populus* F_1 genotypes after 8 weeks of *in vitro* cultivation on a medium MS supplemented 0.5 % NaCl**

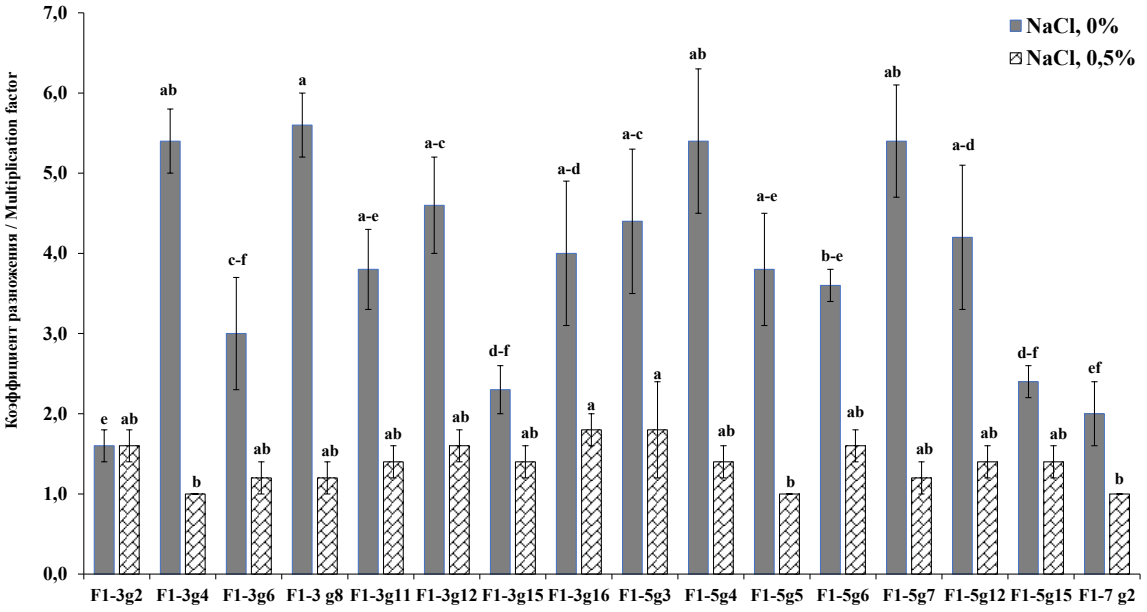


Рис. 7. **Коэффициент размножения генотипов *Populus* F_1 после 8 недель культивирования *in vitro* на питательной среде MS в контроле (NaCl, 0 %) и при сублетальной концентрации NaCl (0,5 %).** Разные буквы в столбцах одного параметра показывают статистически значимые различия согласно НСР-тесту Фишера при $p<0,05$ /

Fig. 7. **Multiplication factor of *Populus* F1 genotypes on MS nutrient medium in the control (NaCl, 0 %) and at sublethal concentration of NaCl (0.5 %).** Different letters in columns of one parameter indicate statistically significant differences according to Fisher LSD-test at $p<0.05$

В работе А. А. Эрст с соавт. (A. A. Erst et al.) [9] при оценке устойчивости к засолению *P. alba*×*P. bolleana* и *P. tremula* все исследуемые образцы сохраняли жизнеспособность при 50 мМ NaCl (0,29 %), что подтверждается полученными результатами в нашей работе, где выживших и регенерирующих эксплантов при концентрации NaCl 0,2 % насчитывалось 92,5 и 84,0 % соответственно. Повышение концентрации NaCl до 150 мМ (0,87 %), в наших исследованиях до 0,5 % и выше, также угнетало морфогенез микропобегов и приводило к частичной гибели эксплантов. Однако в работе [9] 11 % гибридов *Populus* сохраняли способность к регенерации на среде с 250 мМ NaCl (1,4 %), а для всех исследуемых генотипов межвидовых гибридов в нашем исследовании 1,0 % NaCl являлся летальной концентрацией. В исследовании Л. Жуве с соавт. (L. Jouve et al.) [18] NaCl в концентрации до 150 мМ (0,87 %) существенно не влияла на морфогенез *P. tremula*. Концентрация 86 мМ NaCl (0,5 %) у *P. robusta*, *P. berolinensis* и *P. popularia* вызывала гибель [19].

Заключение. В результате исследования было изучено влияние моделируемых условий засоления на морфогенез генотипов *Populus* F_1 в культуре *in vitro*. Стресс, созданный путем добавления в состав питательной среды 0,5 и 1,0 % NaCl, вызвал значительное снижение всех изучаемых параметров морфогенеза эксплантов *Populus* F_1. Выявлены статистически значимые различия средних значений исследуемых параметров между разными концентрациями NaCl, а также среди генотипов. Доза 0,5 % NaCl определена как сублетальная в данном исследовании, а 1,0 % – летальная. Среди 16 исследуемых генотипов 4 имели высокий процент выживших эксплантов (96,2–96,7 %). Кроме того, два из них F_1-3 g16 и F_1-5 g6 сохранили высокую регенерацию (82,6–96,6 %) на сублетальной концентрации селективного агента.

Таким образом, результаты, полученные в ходе проведенного исследования, свидетельствуют о том, что методы биотехнологии растений являются эффективными для оценки воздействия абиотического стресса, дают возможность оптимизировать селекционные процессы и сузить поиск устойчивых генотипов. Отобранные генотипы можно считать перспективными для тестирования в полевых условиях на почвах с засолением.

References

1. Mashkina O. S., Tabatskaya T. M., Korchagin O. M. *In vitro* selection of birch for tolerance to salinity stress. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;875(1):012082.
DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012082

2. Kulczyk-Skrzeszewska M., Kieliszewska-Rokicka B. Influence of drought and salt stress on the growth of young *Populus nigra* 'Italica'plants and associated mycorrhizal fungi and non-mycorrhizal fungal endophytes. New Forests. 2022;53(4):679–694. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-021-09879-6

3. Chen Y., Yuan B., Wei Z., Chen X., Chen Y., Qiu N. The ion homeostasis and ROS scavenging responses in 'NL895'poplar plantlet organs under *in vitro* salinity stress. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant. 2018;54:318–331. DOI: https://doi.org/10.1007/s11627-018-9896-z

4. Galović V., Kebert M., Popovic B., Kovacevic B., Vasić V., Joseph M., Orlović S., Szabados L. Biochemical and gene expression analyses in different poplar clones: The selection tools for afforestation of halomorphic environments. Forests. 2021;12(5):636. DOI: https://doi.org/10.3390/f12050636

5. Liu Y., Su M., Han Z. Effects of NaCl stress on the growth, physiological characteristics and anatomical structures of *Populus talassica* × *Populus euphratica* seedlings. Plants. 2022;11(22):3025.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants11223025

6. Singh D., Kumar A. In vitro screening and characterization of selected elite clones of *Eucalyptus tereticornis* Sm. for salt stress. Journal of Plant Growth Regulation. 2021;40:694–706.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00344-020-10138-9

7. Guleria I., Kumari A., Lacaille-Dubois M-A., Nishant, Kumar V., Saini A. K., Dhatwalia J., Lal S. A review on the genus *Populus*: A potential source of biologically active compounds. Phytochemistry Review. 2022;21:987–1046.
DOI: https://doi.org/10.1007/s11101-021-09772-2

8. Эрст А. А., Шишкин С. В., Воронкова М. С. Получение межвидовых гибридов (*Populus alba* × *P. bolleana*) × *P.canescens* с использованием культуры *in vitro*. Сибирский лесной журнал. 2019;(2):45–52.
DOI: https://doi.org/10.15372/SJFS20190204 EDN: JVBNIF

Erst A. A., Shishkin S. V., Voronkova M. S. The generation of interspecific hybrids in (*Populus alba* × *P. bolleana*) × *P.* × *canescens* by *in vitro* culture. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science. 2019;(2):45–52. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15372/SJFS20190204

9. Erst A. A., Shishkin S. V., Voronkova M. S. Evaluation of salinity and osmotic stress resistance of the genus *Populus* species and hybrids in culture *in vitro*. Plant cell biotechnology and molecular biology. 2019;20(11-12):451–458.
URL: https://www.researchgate.net/publication/334811183_EVALUATION_OF_SALINITY_AND_OSMOTIC_STRESS_RESISTANCE_OF_THE_GENUS_Populus_SPECIES_AND_HYBRIDS_IN_CULTURE_In_vitro

10. Спивак В. В., Бурменко Ю. В., Капитова И. А. Эмбриокультура в селекции косточковых: особенности и успехи применения. Садоводство и виноградарство. 2023;(5):27–34.
DOI: https://doi.org/10.31676/0235-2591-2023-5-27-34 EDN: AKXAZG

Spivak V. V., Burmenko Yu. V., Kapitova I. A. Embryo rescue in stone fruit breeding: specifics and application success. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2023;(5):27–34. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31676/0235-2591-2023-5-27-34

11. Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Korchagin O. M. *In vitro* modelling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines. E3S Web of Conferences. 2020;224:04013.
DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404013

12. Zholobova O. O., Mogilevskaya I. V., Melnik S. V. Screening Smoke Tree (*Cotinus coggygria* Scop.) on Osmotic Stress using Polyethylene Glycol 6000 *in vitro*. Indian Journal of Agricultural Research. 2024;58(1):36–42.
DOI: https://doi.org/10.18805/IJARe.AF-781

13. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):189–197.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197 EDN: QPFWKX

Markova M. G., Somova E. N. Optimization of clonal micropropagation of stone fruit crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):189–197. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197

14. Vuksanovic V., Kovacevic B., Orlović S., Kebert M., Kovač M. The influence of drought on growth and development of white poplar shoots *in vitro*. Topola. Poplar. 2019;203:13–18.
URL: https://ilfe.org/sites/default/files/04Vuksanovic_et_al.pdf

15. Vuksanović V., Kovacevic B., Kebert M., Katanic M., Kesic L., Karaklic V., Orlović S. *In vitro* modulation of antioxidant and physiological properties of white poplar induced by salinity. Glasnik Sumarskog fakulteta. 2019;120:179–196. DOI: https://doi.org/10.2298/GSF1920179V

16. Крючков С. Н., Соломенцева А. С., Романенко А. К. Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм. Аграрный вестник Урала. 2023;23(6):23–34. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-23-34 EDN: WLAIAZ

Kryuchkov S. N., Solomentseva A. S., Romanenko A. K. Intraspecific crosses of selected biotypes of the *Ulmus* and *Populus* genera to obtain heterotic breeding forms. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(6):23–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-23-34

17. Phillips G. C., Garda M. Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro* Cellular & Developmental Biology-Plant. 2019;55:242–257. DOI: https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5

18. Jouve L., Hoffmann L., Hausman J. F. Polymine, carbohydrate, and proline content changesduring salt stress exposure of aspen (*Populus tremula* L.): involvement of oxidation and osmoregulation metabolism. Plant Biology. 2004;6(1):74–80. DOI: https://doi.org/10.1055/s-2003-44687

19. Fung L. E., Wang S. S., Altman A., Hütterman A. Effect of NaCl on growth, photosynthesis, ion and water relations of four poplar genotypes. Forest Ecology and management. 1998;107(1-3):135–146.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00328-9

Сведения об авторах

Терещенко Татьяна Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», пр-кт Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062,
e-mail: info@vfanc.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9116-6062**

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией биотехнологий, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», пр-кт Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1594-4181**

✉ **Могилевская Ирина Владимировна,** кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологий, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», пр-кт Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-8421-4767,** e-mail: mogilevskaya-i@vfanc.ru

Information about the authors

Tatyana V. Tereshchenko, junior researcher, the Laboratory of Biotechnologies, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Universitetsky Avenue, 97, Volgograd, Russian Fedetation, 400062, e-mail: info@vfanc.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9116-6062

Olga O. Zholobova, PhD in Biology, leading researcher, Head of the Laboratory of Biotechnologies, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Universitetsky Avenue, 97, Volgograd, Russian Fedetation, 400062, e-mail: info@vfanc.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1594-4181

✉ **Irina V. Mogilevskaya**, PhD in Biology, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Biotechnologies, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Universitetsky Avenue, 97, Volgograd, Russian Fedetation, 400062, e-mail: info@vfanc.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8421-4767, e-mail: mogilevskaya-i@vfanc.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.306–316
УДК 633.13:632.4(470.1)

Эффективность отбора овса пленчатого на устойчивость к пыльной головне

© 2025. О. А. Жуйкова✉, Г. А. Баталова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – оценить эффективность отбора овса пленчатого на искусственном инфекционном фоне U. avenae на устойчивость к пыльной головне при создании селекционных линий. Исследования проводили в Кировской области в годы с различными гидротермическими условиями вегетации: 2023 г. (ГТК – 1,66); 2024 г. (ГТК – 1,10). По устойчивости к пыльной головне изучены 13 линий овса пленчатого, созданных методом массового отбора иммунных к пыльной головне форм на искусственном инфекционном фоне Ustilago avenae (*Jens. Pers.*) из образцов генофонда ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. В. Вавилова» (ВИР). На естественном фоне развития патогена у созданных линий и коллекционных образцов поражение отсутствовало, а уровень признака у индикаторного сорта Медведь составил 0,77 %. При искусственной инокуляции семян выявлены практически устойчивые линии (11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 20h10, 22h10 – поражение до 2 %), что значительно ниже исходных форм, а также иммунные линии (6h10 и 19h10) при поражении индикаторного сорта 74,8 %. Линия 20h10 на инфекционном фоне достоверно превышала по урожайности стандарт – высокоустойчивый к пыльной головне сорт Архан. На обоих фонах головневой инфекции выявлена достоверная (при p≤0,05) корреляционная зависимость урожайности от основных элементов продуктивности растений: высоты растений (r = 0,37…0,50), длины метелки (r = 0,47…0,52) и ее массы (r = 0,58…0,72), количества колосков (r = 0,56…0,65), массы зерна с метелки (r = 0,60…0,72) и растения (r = 0,51…0,84). Установлена значимая связь (при p≤0,05) между поражением растений овса пыльной головней и массой метелки (r = -0,40), количеством колосков (r = -0,37), количеством зерен (r = -0,36), массой зерна с метелки (r = -0,37) и растения (r = -0,38). При инфицировании семян выявлена высокая вредоносность пыльной головни: снижение массы метелки на 18,3 %, количества колосков – на 16,6 %, количество зерен – на 18,3 %, массы зерна с метелки – на 22,0 %, массы зерна с растения – на 27,6 %. Таким образом, созданы устойчивые к пыльной головне (5h10, 6h10, 11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 19h10, 20h10 и 22h10) и высокоурожайные (6h10 и 20h10) линии овса пленчатого.

Ключевые слова: *Avenae sativa* L., *Ustilago avenae* (Jens. Pers.), *погодные условия, инфекционный фон, урожайность, количество зерен, масса 1000 зерен*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Эффективность отбора овса пленчатого на устойчивость к пыльной головне. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):306–316. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.306-316

Поступила: 23.12.2024 Принята к публикации: 06.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The effectiveness of covered oat selection for resistance to dusty smut

© 2025. Olga A. Zhuikova✉, Galina A. Batalova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The purpose of the research is to evaluate the effectiveness of the selection of covered oats on an artificial infectious background of U. avenae for resistance to dust smut when creating breeding lines. The studies were conducted in the Kirov region in years with different hydrothermal vegetation conditions: 2023 (HTC – 1.66); 2024 (HTC – 1.10). In terms of resistance to smut, there have been studied 13 lines of covered oats, created by the method of mass selection of forms immune to smut on an artificial infectious background of Ustilago avenae (Jens. Pers.) from the samples of the gene pool of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. V. Vavilov" (VIR). Against the natural background of the pathogen development, there was no damage in the created lines and collection samples, and the level of the trait in the indicator cultivar 'Medved' was 0.77 %. Artificial inoculation of seeds revealed practically stable lines (11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 20h10, 22h10 – damage up to 2 %), which is significantly lower than the initial forms, as well as immune lines (6h10 and 19h10), with damage to the indicator cultivar of 74.8 %. Among them, the 20h10 line significantly exceeded the standard yield on an infectious background – the 'Arhan' cultivar highly resistant to dust smut. There

was a significant (at p<0.05) correlation dependence of yields on both backgrounds of the smut infection of the study on the main elements of plant productivity: plant height (r = 0.37...0.50), panicle length (r = 0.47...0.52) and its mass (r = 0.58...0.72), the number of spikelets (r = 0.56...0.65), grain weight from the panicle (r = 0.60...0.72) and from the plant (r = 0.51...0.84). A significant relationship was established (at p<0.05) between the dusty smut damage of oat plants and the mass of the panicle (r = -0.40), the number of spikelets (r = -0.37), the number of grains (r = -0.36), the mass of grain from the panicle (r = -0.37) and from the plant (r = -0.38). When the seeds were infected, a high harmfulness of dusty smut was detected: a decrease in the mass of the panicle by 18.3 %, the number of spikelets by 16.6 %, the number of grains by 18.3 %, the mass of grain from the panicle by 22.0 %, and the mass of grain from the plant by 27.6 %. Thus, there have been created resistant to dust smut (5h10, 6h10, 11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 19h10, 20h10 and 22h10) and high-yielding (6 h10 and 20h10) covered oat lines.

Keywords: *Avenae sativa* L., *Ustilago avenae* (Jens. Pers.), *weather conditions, infectious background, yield, number of grains, mass of 1000 grains*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Zhuykova O. A., Batalova G. A. The effectiveness of covered oat selection for resistance to dusty smut. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):306–316. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.306-316

Received: 23.12.2024 Accepted for publication: 06.03.2025 Published online: 29.04.2025

В северо-восточном регионе Европейской части РФ проявление головневой инфекции на посевах зерновых культур отмечают ежегодно [1]. По данным ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области, поражение посевов овса пыльной головней (*Ustilago avenae* (Jens. Pers.) прогрессирует, и в отдельные годы уровень признака в среднем по сортам составляет около 0,4 %. Пораженное зерно становится непригодным как для продовольственных, так и фуражных целей. В связи с высокой вредоносностью головневой инфекции повышаются требования к технологии возделывания овса и использованию устойчивых сортов [2]. В селекции овса на иммунитет следует ориентироваться на создание сортов, устойчивых, прежде всего, к пыльной головне. Развитию *U. avenae* благоприятствует повышенная температура почвы на глубине заделки семян, а также наличие инфекции в почве и семенах [3].

Известно, что адаптированные к местным экологическим условиям линии овса являются перспективным конкурентоспособным исходным материалом при создании будущего сорта, так как служат источниками иммунологических и селекционных признаков [4, 5]. Поиск и создание таких форм – одна из важнейших задач в селекции овса на устойчивость к грибным болезням.

Цель исследований – оценить эффективность отбора овса пленчатого на искусственном инфекционном фоне *U. avenae* на устойчивость к пыльной головне при создании селекционных линий.

Научная новизна – созданы новые генотипы овса пленчатого, которые характеризуются устойчивостью или иммунностью к пыльной головне, высокими параметрами элементов структуры продуктивности (число и масса зерна с метелки, масса 1000 зерен) и являются ценными для селекции.

Материал и методы. Исследования проводили в 2023-2024 гг. в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур[1]. Материалом служили 13 линий овса пленчатого, созданных в 2009-2010 гг. методом отбора иммунных к пыльной головне форм из образцов ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. В. Вавилова» (ВИР) (табл. 1). По происхождению исходные формы относились к США, Канаде, Украине и РФ. Стандартом являлся высокоустойчивый к пыльной головне сорт Архан, индикатором – умеренно восприимчивый сорт Медведь.

Метеорологические условия описаны по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Влагообеспеченность оценивали по показателю гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитанного по формуле А. И. Селянинова[2].

[1]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.
[2]Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

Таблица 1 – **Материал исследований овса пленчатого** /
Table 1 – **Research material of covered oats**

Исходная форма / Initial form			*Линия / Line*
номер каталога ВИР / the FRC VIR catalog number	*название образца / name of the sample*	*страна происхождения / country of origin*	*номер каталога отбора ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока / the number of the selection catalog of FARC North-East*
к-14732	IL 85-1538	США / USA	4h10
к-14555	83AB 3119		5h10
к-14780	Иртыш 21 / ‘Irtysh 21’	Россия / Russia	6h10
к-14838	‘Rodeo’	США / USA	7h10
к-14022	‘Riel’	Канада / Canada	11h10
к-14779	Тарский 2 / ‘Tarsky 2’	Россия / Russia	14h10
к-14787	Привет / ‘Privet’		15h10
к-14696	‘AC Hunter’	Канада / Canada	16h10
к-14319	IL 86-5698	США / USA	17h10
к-14775	Деснянский / ‘Desnyansky’	Украина / Ukraine	18h10
к-14752	‘Zephyr’	США / USA	19h10
к-14762	CI 5558		20h10
к-14746	‘Eaton’		22h10

Агроклиматические характеристики в годы исследований значительно различались по количеству осадков и тепловым ресурсам. Погодные условия в период вегетации овса 2023 г. были в целом благоприятны для роста и развития растений, о чем косвенно свидетельствует ГТК, равный 1,66. Посев питомника провели 16 апреля. Среднемесячная температура воздуха составила 6,8 °С (отклонение от нормы +2,7 °С), осадков выпало 30 мм (77 % нормы). В мае наблюдали неустойчивую по температуре погоду с продолжительными сухими периодами. Среднесуточная температура воздуха составила 13,8 °С, выше нормы на 1,9 °С. Июнь характеризовался неустойчивой погодой – от очень теплой до холодной, преимущественно сухой с небольшими осадками. Среднесуточная температура воздуха составила 14,1 °С, что ниже климатической нормы на 2,3 °С. В июле наблюдали прохладную, временами жаркую погоду с редкими обильными дождями. Среднесуточная температура воздуха была близка к норме – 18,7 °С, осадков выпало 180 мм (221 % нормы). Среднесуточная температура воздуха в августе превысила среднемноголетнее значение на 2–8 °С и составила 20,5 °С, осадков не было.

В 2024 г. метеорологические условия вегетационного периода были недостаточно благоприятными для роста и развития растений (ГТК – 1,1). Посев питомника провели 30 апреля в прогретую влажную почву. После теплого апреля наступил аномально холодный май при среднесуточной температуре воздуха 7,5 °С, ниже обычных значений на 4,4 °С. Осадки часто выпадали в виде мокрого снега. Июнь характеризовался неустойчивой погодой – от очень теплой до теплой, преимущественно сухой. Среднесуточная температура воздуха составила 18,8 °С, выше климатической нормы на 2,4 °С. В июле отмечена неустойчивая по температуре погода – от жаркой до умеренно теплой, преимущественно сухая при средней температуре воздуха 19,8 °С. В августе среднесуточная температура была на 1,5 °С выше климатической нормы – 17,4 °С, количество осадков – 15 мм, или 20 % нормы.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин. Содержание гумуса в пахотном слое низкое – 2,43…2,51 % (по методу Тюрина), подвижного фосфора и обменного калия – очень высокое и высокое соответственно 334…339 и 200…245 мг/кг почвы (по методу Кирсанова), средне- и слабокислая реакция среды – 4,7…5,8 ед. $pH_{сол.}$

Инфекционный фон на пыльную головню создавали путем заспорения семян телиоспорами местной популяции *U. avenae* по методике ВИР[3] (рис. 1). Для этого использовали инокулюм,

[3]Кривченко В. И, Щелко Л. Г., Тимошенко З. В. Методы изучения устойчивости ячменя и овса к головнёвым болезням. Методы фитопатологических и энтомологических исследований в селекции растений. Под ред. Ю. Н. Фадеева, А. А. Кузьмичева. М.: Колос, 1977. С. 51–57.

собранный в предыдущий перед заражением семян год, поскольку всхожесть спор и эффективность заражения при их хранении снижается [6]. Споровую суспензию готовили непосредственно перед инокуляцией. Для этого в жидкую питательную среду, состоящую из 6%-го раствора пивного сусла, 0,2%-го агар-агара и 1%-го декстрина, вносили 2 г/л спор патогена. Для нарушения целостности оболочки зерна вместо прибора РТ-1 использовали шелушитель лабораторный «МИНИ» с резиновым эластичным валиком при пониженных оборотах вращения, что минимизирует травмированность зерновки (рис. 2). Учеты образцов и линий на восприимчивость к головне проводили при достижении молочной спелости зерна по количеству поражённых и непоражённых растений и/или метёлок в соответствии с методикой ВИР[4].

Изучение новых линий и исходных форм овса проводили в фитопатологическом питомнике на делянках площадью 1 м^2 в трехкратной повторности. При оценке эффективности отбора сравнивали иммунологические и селекционные признаки со стандартом и исходной формой – коллекционным образцом овса.

Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием пакета селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07 и пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Рис. 1. **Сбор телиоспор с метелок овса, пораженных *U. avenae* (а), готовый инокулюм для заражения семян (б) /**

Fig. 1. **Collecting of teliospores from oat panicles affected by *U. avenae* (a), ready-made inoculum for seed infection (b)**

Рис. 2. **Шелушитель зерна «МИНИ»** / *Fig. 2.* **"MINI"grain husker**

[4]Кривченко В. И., Щелко Л. Г., Тимошенко З. В. Указ. соч.

Результаты и их обсуждение. При поиске источников устойчивости к грибным болезням следует учитывать, что оценка на естественном фоне развития патогена может быть далека от объективной [7]. Изучение на инфекционном фоне – эффективный метод тестирования селекционного материала, который позволяет определить реакцию генотипа к конкретной расе или популяции патогена и оценить расоспецифическую и неспецифическую устойчивость [8, 9, 10]. Инфекционный фон считается достаточно жёстким, если степень поражения индикаторного (восприимчивого) сорта превышает 60 % [11].

Значимым фактором, влияющим на развитие грибных болезней у яровых зерновых культур, являются погодные условия (температура воздуха и почвы, количество осадков) в период вегетации растений [3].

В 2023 г. оптимальные температура воздуха и низкая влажность почвы в период прорастания семян (ГТК – 0,7) благоприятствовали развитию *U. avenae.* В этих условиях, даже на естественном фоне *U. avenae*, у большинства новых линий и всех исходных форм овса отмечены признаки поражения до 1,19 %, а на фоне инокуляции семян – до 8,2 %, при поражении индикаторного сорта – 74,8 %.

В 2024 г. погодные условия в значимые периоды развития возбудителя пыльной головни были неблагоприятными как при прорастании семян (ГТК – 3,1), так и в период «цветение-молочная спелость» растений (ГТК – 0,4). Все линии и исходные формы не имели признаков поражения на естественном фоне (ЕФ), за исключением американского образца Rodeo и линии 7h10. На искусственном инфекционном фоне (ИИФ) поражение исходных форм к-14555, к-14738, к-14696 и стандарта Архан достигало 3,5 %, индикаторного сорта Медведь – 64,4 %.

За два года исследований на естественном фоне развития *U. avenae* поражение отсутствовало у шести линий овса – 6h10, 11h10, 18h10, 19h10, 20h10, 22h10, шести исходных форм – к-14555, к-14780, к-14779, к-14319, к-14752, к-14746 и у стандарта Архан (табл. 2). При искусственном заражении линии 6h10 и 19h10 проявили иммунитет к пыльной головне, а их исходные формы к-14780 и к-14752 – практическую устойчивость. Созданы линии (11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 20h10, 22h10) с незначительным поражением на инфекционном фоне (до 2 %). Слабая восприимчивость (поражение 5,15–8,65 %) выявлена у трех линий (4h10, 7h10, 15h10).

Обнаружено, что три иммунные на естественном фоне линии 4h10, 11h10, 18h10 проявили восприимчивость к болезни при искусственной инокуляции. Однако у шести линий 5h10, 6h10, 11h10, 16h10, 18h10, 22h10 восприимчивость к пыльной головне на ИИФ была значительно ниже исходных форм, что свидетельствует об эффективности целевого отбора.

Депрессия устойчивости к болезни на обоих фонах проявилась у четырех линий 7h10, 15h10, 17h10, 20h10.

Исследователи отмечают, что у многих сортов в условиях повышенной инфекционной нагрузки фитопатогенов ухудшаются показатели селекционных признаков [12]. Основным агрономически значимым свойством генотипа является его продуктивный потенциал. В наших исследованиях семь линий 4h10, 5h10, 7h10, 15h10, 18h10, 19h10, 20h10 на обоих фонах инфекции *U. avenae* сформировали урожайность на уровне или выше исходной формы. Наилучшие показатели у линии 20h10, которая на инфекционном фоне превысила стандарт Архан по данному признаку на 103 г (табл. 3). При повышении инфекционной нагрузки урожайность по отношению к стандарту снизили почти все линии и исходные формы, депрессия признака составила от 1,1 до 67,0 %. Исключением являются линии 6h10, 20h10 и исходные формы к-14779 и к-14762, урожайность которых на искусственном инфекционном фоне *U. avenae* превысила сорт-стандарт на 1–103 г/м^2, что характеризует данные генотипы как толерантные к пыльной головне.

Известно, что показатель урожайности находится в сложной корреляционной зависимости от совокупности различных элементов структуры продуктивности растений [13, 14].

В наших исследованиях установлена достоверная связь средней и сильной степени между урожайностью овса и высотой растений, длиной и массой метелки, количеством колосков, массой зерна с метелки и растения (табл. 4).

Таблица 2 – **Иммунологическая характеристика линий овса пленчатого и их исходных форм по устойчивости к пыльной головне (максимальное поражение за 2023-2024 гг.)** /
Table 2 – **Immunological characteristics of lines and initial forms of covered oats for resistance to dusty smut (maximum infection for 2023-2024)**

Линия / Line *Исходная форма / Initial form*	*Максимальное поражение, % / Maximum infection, %*		*Характеристика устойчивости (оценка по ИИФ) / Resistance characteristics (AIB assessment)*
	ЕФ / NB	*ИИФ / AIB*	
4h10 к-14732	0,17 0,45	8,20 1,03	Слабовосприимчивый / Weakly sensitive Практически устойчивый / Practically stable
5h10 к-14555	0,66 0,00	3,30 6,40	Практически устойчивый / Practically stable Слабовосприимчивый / Weakly sensitive
6h10 к-14780	0,00 0,00	0,00 3,00	Иммунный / Immune Практически устойчивый / Practically stable
7h10 к-14738	6,10 3,20	8,65 6,40	Слабовосприимчивый / Weakly sensitive Слабовосприимчивый / Weakly sensitive
11h10 к-14022	0,00 1,19	0,35 3,54	Практически устойчивый / Practically stable Практически устойчивый / Practically stable
14h10 к-14779	0,10 0,00	1,72 2,79	
15h10 к-14787	0,21 0,20	5,15 3,11	Слабовосприимчивый / Weakly sensitive Практически устойчивый / Practically stable
16h10 к-14696	0,45 0,23	1,40 1,68	Практически устойчивый / Practically stable Практически устойчивый / Practically stable
17h10 к-14319	0,75 0,00	3,11 0,07	
18h10 к-14775	0,00 0,17	0,17 0,64	
19h10 к-14752	0,00 0,00	0,00 0,27	Иммунный / Immune Практически устойчивый / Practically stable
20h10 к-14762	0,00 0,00	0,37 0,24	Практически устойчивый / Practically stable Практически устойчивый / Practically stable
22h10 к-14746	0,00 0,00	0,50 4,99	
Архан – стандарт / ‘Archan’ – standard	0,00	3,50	Практически устойчивый / Practically stable
Медведь – индикатор / ‘Medved’– indicator	0,77	74,8	Сильновосприимчивый / Highly sensitive

Примечания: ЕФ – естественный фон; ИИФ – искусственный инфекционный фон /
Notes: NB – natural background; AIB – artificial infectious background

В то же время выявлена значимая ($p \leq 0,05$) обратная связь между поражением изучаемых генотипов пыльной головней и показателями структуры продуктивности растений овса: массой метелки (r = -0,40); количеством колосков (r = -0,37); количеством зерен (r = -0,36); массой зерна с метелки (r = -0,37) и растения (r = -0,38).

Таблица 3 – **Урожайность исходных форм и линий овса пленчатого на фонах инфекции *U. avenae* (в среднем за 2023-2024 гг.)** /
Table 3 – **Yield of initial forms and lines of covered oats on the backgrounds of *U. avenae* infection (average for 2023-2024)**

Линия / Line *Исходная форма / Initial form (IF)*	*Естественный фон / Natural background*			*Искусственный инфекционный фон / Artificial infectious background*			
	г/м² / g/m²	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*	*г/м² / g/m²*	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*	*депрессия признака к стандарту, % / depression of the trait to the standard, %*
4h10 к-14732	680±113 397±17	+283 -	+64 -219	324±45 162±61	+162 -	-112 -274	25,7 62,8
5h10 к-14555	453±13 437±65	+16 -	-163 -179	309±26 264±55	+45 -	-127 -127	29,1 39,4
6h10 к-14780	644±31 660±14	-16 -	+28 +44	474±42 332±14	+142 -	+38 -104	-8,7 23,9
7h10 к-14738	633±108 428±24	+205 -	+17 -188	330±18 230±57	+100 -	-106 -206	24,3 47,2
11h10 к-14022	428±14 475±13	-47 -	-188 -141	217±25 334±32	-117 -	-219 -102	50,2 23,4
14h10 к-14779	428±114 649±21	-221 -	-188 +33	281±41 437±4	-156 -	-155 +1	35,6 -0,2
15h10 к-14787	730±51 543±20	+187 -	+144 -73	422±14 334±35	+88 -	-14 -102	3,2 23,4
16h10 к-14696	590±42 622±68	-32 -	-26 +6	431±13 428±32	+3 -	-5 -8	1,1 1,8
17h10 к-14319	426±125 570±88	-144 -	-190 -46	408±79 357±14	+51 -	-28 -79	6,4 18,1
18h10 к-14775	491±91 365±97	+126 -	-125 -251	363±112 325±8	+38 -	-73 -111	16,7 25,5
19h10 к-14752	507±29 481±88	+26 -	-109 -135	281±33 256±50	+25 -	-155 -180	35,6 41,3
20h10 к-14762	595±30 533±22	+62 -	-21 -83	539±51 448±15	+91 -	+103 +12	-23,6 -2,8
22h10 к-14746	290±121 523±54	-233 -	-326 -93	144±29 465±31	-321 -	-292 +29	67,0 -6,7
Архан – стандарт / ‘Archan’ – standard	616±28	-	-	436±15	-	-	-
Индикатор – Медведь / Indicator – ‘Medved’	525±72	-	-91	323±63	-	-113	25,9
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	109	-	-	98	-	-	-

Таблица 4 – **Коэффициенты парных корреляций между урожайностью и элементами структуры продуктивности исходных форм и линий овса пленчатого (в среднем за 2023-2024 гг.)** /
Table 4 – **Coefficients of paired correlations between productivity and elements of the productivity structure of initial forms and lines of covered oats (average for 2023-2024)**

Элементы структуры продуктивности / Elements of the productivity structure	*Коэффициенты корреляций / Correlation coefficients*	
	естественный фон / natural background	*искусственный инфекционный фон / artificial infectious background*
Высота растений / Plant height	0,32*…0,52*	0,37*…0,50*
Длина метелки / Panicle length	0,29…0,47*	0,47*…0,52*
Масса метелки / Mass of a panicle	0,56*…0,77*	0,58*…0,72*
Число колосков в метелке / Number of spikelets in a panicle	0,59*…0,74*	0,56*…0,65*
Число зерен в метелке / Number of grains in a panicle	0,28…0,39*	0,56*…0,81*
Масса зерна с метелки / Grain mass from a panicle	0,34*…0,77*	0,60*…0,72*
Масса зерна с растения / Grain mass from a plant	0,61*…0,66*	0,51*…0,84*

*Корреляционная связь достоверна на уровне p≤0,05 / *Correlation is significant at p≤0.05

При изучении линий овса на естественном и инфекционном фонах *U. avenae* обнаружено значительное негативное влияние инфекции на элементы продуктивности растений. При инфицировании семян депрессия признака в среднем у всех изученных линий и образцов составила по: массе метелки – 18,3 %; количеству колосков – 16,6 %; количеству зерен – 18,3 %; массе зерна с метелки – 22,0 %; массе зерна с растения – 27,6 %. К толерантным генотипам можно отнести лишь линии 16h10 и 20h10, у которых снижение основных элементов продуктивности отсутствовало или не превышало 10 % (табл. 5), кроме линии 16h10 – депрессия по массе зерна с растения составила 22,8 %.

Следует отметить линии 16h10, 18h10, 19h10, которые сформировали элементы продуктивности растений на уровне стандарта и своих исходных форм (табл. 6).

Таблица 5 – **Депрессия некоторых элементов структуры продуктивности у устойчивых к пыльной головне линий овса пленчатого (в среднем за 2023-2024 гг.)** /
Table 5 – **Depression of some elements of the productivity structure in covered oat lines resistant to dusty smut (average for 2023-2024)**

Линия / Line	*Масса метелки, г / Mass of a panicle, g*			*Количество зерен в метелке, шт. / Number of grains in panicle, pcs.*			*Масса зерна с растения, г / Grain mass from a panicle, g*			*Масса 1000 зерен, г / Mass of 1000 grains, g*		
	ЕФ / NB	*ИИФ / AIB*	*Д / D*	*ЕФ / NB*	*ИИФ / AIB*	*Д / D*	*ЕФ / NB*	*ИИФ / AIB*	*Д / D*	*ЕФ / NB*	*ИИФ / AIB*	*Д / D*
5h10	1,71	1,51	11,7	33,6	21,9	34,8	1,78	1,29	27,5	36,5	34,4	5,7
6h10	3,52	2,93	16,8	60,0	55,4	7,7	3,35	2,40	28,4	45,3	39,7	12,4
11h10	1,84	1,29	29,9	38,9	26,6	31,6	1,78	1,13	36,5	40,6	35,0	13,8
14h10	2,07	1,76	15,0	45,4	35,4	22,0	1,96	1,46	25,5	38,2	37,6	1,6
16h10	2,38	2,24	5,9	39,3	39,1	0,5	2,24	1,73	22,8	40,7	42,9	-5,4
18h10	2,11	1,78	15,6	41,8	38,0	9,1	2,10	1,58	24,8	39,1	36,7	6,1
19h10	2,34	2,00	14,5	43,3	36,2	16,4	2,81	2,23	20,6	41,8	41,4	1,0
20h10	3,1	2,98	4,0	62,6	59,7	4,6	3,49	3,54	-1,4	39,2	36,0	8,9
22h10	1,55	1,24	20,0	34,2	30,2	11,7	1,69	1,03	39,1	32,5	29,7	8,6
Архан – ст. / ‘Archan’ – st.	1,55	1,17	24,5	32,9	25,9	21,3	1,71	1,01	40,9	38,1	37,1	2,6
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,85	0,62	-	24,4	19,6	-	0,96	1,10	-	6,3	4,2	-

Примечания: ЕФ – естественный фон; ИИФ – искусственный инфекционный фон; Д – депрессия признака на инфекционном фоне, % /

Notes: NB – natural background; AIB – artificial infectious background; D – depression of a trait on infectious background, %

Таблица 6 – **Параметры элементов продуктивности линий овса пленчатого с высокой устойчивостью к пыльной головне на искусственном инфекционном фоне (в среднем за 2023-2024 гг.)/**
Table 6 – **Parameters of the elements of the productivity of oat lines with high resistance to dust smut on an artificial infectious background (average for 2023-2024)**

Линия / Line / *Исходная форма / Initial form (IF)*	*Масса метелки / Mass of a panicle*			*Количество зерен в метелке / Number of grains in panicle*			*Масса зерна с растения / Grain mass from a panicle*			*Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains*		
	г / g	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*	шт. / pcs.	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*	*г / g*	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*	*г / g*	*± к исходной форме / ± to the IF*	*± к стандарту / ± to the standard*
5h10 / к-14555	1,51 / 1,41	0,10 / -	0,34 / 0,24	21,9 / 28,8	-6,9 / -	-4,0 / 2,9	1,29 / 1,20	0,09 / -	0,28 / 0,19	34,4 / 35,9	-1,5 / -	-2,7 / -1,2
6h10 / к-14780	2,93 / 2,14	0,79 / -	1,76 / 0,97	55,4 / 35,2	20,2 / -	29,5 / 9,3	2,40 / 1,76	0,64 / -	1,39 / 0,75	39,7 / 41,7	-2,0 / -	2,6 / 4,6
11h10 / к-14022	1,29 / 1,84	-0,55 / -	0,12 / 0,67	26,6 / 36,1	-9,5 / -	0,7 / 10,2	1,13 / 1,49	-0,36 / -	0,12 / 0,48	35,0 / 36,9	-1,9 / -	-2,1 / -0,2
14h10 / к-14779	1,76 / 1,84	-0,40 / -	0,59 / 0,67	35,4 / 30,2	5,2 / -	9,5 / 4,3	1,46 / 1,70	-0,24 / -	0,45 / 0,69	37,6 / 42,6	-5,0 / -	0,5 / 5,5
16h10 / к-14696	2,24 / 2,00	0,24 / -	1,07 / 0,83	39,1 / 42,0	-2,9 / -	13,2 / 16,1	1,73 / 1,58	0,15 / -	0,72 / 0,57	42,9 / 36,2	6,7 / -	5,8 / -0,9
18h10 / к-14775	1,78 / 1,63	0,15 / -	0,61 / 0,46	38,0 / 36,6	1,4 / -	12,1 / 10,7	1,58 / 1,42	0,16 / -	0,57 / 0,41	36,7 / 36,0	0,7 / -	-0,4 / -1,1
19h10 / к-14752	2,00 / 1,48	0,52 / -	0,83 / 0,31	36,2 / 26,8	9,4 / -	10,3 / 0,9	2,23 / 1,12	1,11 / -	1,22 / 0,11	41,4 / 41,4	0,0 / -	4,3 / 4,3
20h10 / к-14762	3,10 / 2,02	1,08 / -	1,93 / 0,85	59,7 / 42,0	17,7 / -	33,8 / 16,1	3,54 / 1,89	1,65 / -	2,53 / 0,88	39,2 / 37,7	1,5 / -	2,1 / 0,6
22h10 / к-14746	1,24 / 2,32	-1,08 / -	0,07 / 1,15	30,2 / 42,9	-12,7 / -	4,3 / 17,0	1,03 / 1,98	0,86 / -	0,02 / 0,92	29,7 / 31,0	1,5 / -	0,8 / -6,1
Архан –стандарт / ‘Archan’ –standard	1,17	-	-	25,9	-	-	1,01	-	-	37,1	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,62	-	-	19,6	-	-	1,10	-	-	4,2	-	-

Две новые линии 6h10 и 20h10 характеризовались лучшими, чем у стандарта показателями по крупности зерна (свыше на 2,6 и 2,1 г соответственно), массе метелки (на 1,76 и 1,93 г), количеству зерен в метелке (на 29,5 и 33,8 шт.) и массе зерна с растения (на 1,39 и 2,53 г).

Следует отметить, что исходная форма иммунной линии 6h10 – сорт Иртыш 21 (к-14780) селекции Омского аграрного научного центра в условиях Кировской области характеризовался практической устойчивостью к пыльной головне и более высокими, чем у стандарта показателями массы метелки и крупности зерна. Исходная форма высокоустойчивой линии 20h10 – американский сорт CI 5558 (к-14762) обладал практической устойчивостью к заболеванию и достоверно превышал стандарт по массе метелки в условиях искусственного заражения семян.

Заключение. Таким образом, отбор генотипов овса пленчатого на искусственном инфекционном фоне *U. avenae* был эффективен в 60 % случаев по устойчивости к пыльной головне и в 15 % – по повышению урожайности. Созданные устойчивые (5h10, 6h10, 11h10, 14h10, 16h10, 18h10, 19h10, 20h10, 22h10) и высокоурожайные (6h10, 20h10) линии овса пленчатого рекомендуются к использованию в селекции на данный признак в регионах, где эта проблема актуальна.

Искусственное заражение семян овса телиоспорами *U. avenae* позволяет объективно оценить генофонд культуры по устойчивости к пыльной головне, выявить хозяйственно и иммунологически ценные генотипы, несмотря на влияние погодных условий.

Список литературы

1. Градобоева Т. П., Баталова Г. А. Влияние факторов среды на устойчивость овса к пыльной головне. Зерновое хозяйство России. 2020;(3(69)):72–76. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76 EDN: AHYJVH

2. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2022;(3):6–13. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013 EDN: LKVJRZ

3. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Щенникова И. Н., Мартьянова А. Н. Зависимость развития грибной инфекции зерновых культур от сезонной динамики климатических факторов. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(4):58–61. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29187239 EDN: YOSHXD

4. Баталова Г. А., Шевченко С. Н., Лисицын Е. М., Тулякова М. В., Русакова И. И., Железникова В. А., Градобоева Т. П. Методология создания продуктивных, экологически устойчивых сортов овса пленчатого. Российская сельскохозяйственная наука. 2017;(6):3–6.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30773890 EDN: ZXLBBN

5. Баталова Г. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Жуйкова О. А. Некоторые результаты селекции яровых зерновых на иммунитет в условиях Волго-Вятского региона России. Эколого-генетические основы селекции возделывания сельскохозяйственных культур: мат-лы Международн. научн.-практ. конф. и школы молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства. Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса», 2022. С. 4–7. DOI: https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7

6. Лейбович Я. Г., Власенко Н. М., Колупаева А. С. Селекция овса на устойчивость к пыльной головне в ФИЦ «Немчиновка». Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018;20(2-2(82)):245–247. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36289160 EDN: SIMFDN

7. Дмитриев А. П. Ржавчина овса. СПб: Всероссийский НИИ защиты ратений (ВИЗР), 2000. 112 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000697284

8. Земцова Е. С., Боме Н. А., Колоколова Н. Н. Дифференциация сортов яровой пшеницы, районированных в Тюменской области, по устойчивости к фузариозу колоса. Пермский аграрный вестник. 2023;(2(42)):20–26. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_20 EDN: YALIIS

9. Щеклеина Л. М., Харина А. В. Искусственный инфекционный фон с использованием местной популяции гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. Пермский аграрный вестник. 2023;(4(44)):83–90.
DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_83 EDN: VRFTUQ

10. Жуйкова О. А., Градобоева Т. П., Баталова Г. А. Эффективность инфекционных фонов при оценке овса на устойчивость к грибным болезням. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(3):10–13.
DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262720030035 EDN: RTCRDP

11. Захаренко В. А., Медведев А. М., Ерохина С. А., Коваленко Е. Д., Добровольская Г. В., Михайлов А. А. Методика по оценке устойчивости сортов полевых культур к болезням на инфекционных и провокационных фонах. М., 2000. 120 с.

12. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):172–180. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180 EDN: EWZDJW

13. Иванова И. Ю., Иванова А. О., Ильина С. В. Корреляционная зависимость урожайности пшеницы мягкой яровой от элементов продуктивности. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019;(4(32)):119–125.
DOI: https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11142 EDN: RPVZCI

14. Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):949–957.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957 EDN: SIRCSC

References

1. Gradoboeva T. P., Batalova G. A. The effect of environmental factors on oats resistance to loose smut. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(3):72–76. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76

2. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):6–13. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013

3. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Shchennikova I. N., Mart"yanova A. N. Dependence of fungal infection development of cereals on seasonal dynamics of climate factors. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(4):58–61. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29187239

4. Batalova G. A., Shevchenko S. N., Lisitsyn E. M., Tulyakova M. V., Rusakova I. I., Zheleznikova V. A., Gradoboeva T. P. Breeding methodology of ecologically resistant varieties of covered oat. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2017;(6):3–6. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30773890

5. Batalova G. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Zhuykova O. A. Some results of spring grain breeding for immunity in the Volga-Vyatka region of Russia. Ecological and genetic bases of breeding of agricultural crops: Proceedings of International scientific and practical conference and school of young scientists on the ecological and genetic foundations of crop production. Krasnodar: *FGBNU «FNTs risa»*, 2022. pp. 4–7.
DOI: https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7

6. Leybovich Ya. G., Vlasenko N. M., Kolupaeva A. S. Selektsiya ovsa na ustoychivost' k pyl'noy golovne v FITs «Nemchinovka». *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-2(82)):245–247. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36289160

7. Dmitriev A. P. Oat Rust. Saint-Petersburg: *Vserossiyskiy NII zashchity rateniy (VIZR)*, 2000. 112 p.
URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000697284

8. Zemtsova E. S., Bome N. A., Kolokolova N. N. Differentiation of spring wheat varieties recognized in the Tyumen region by resistance to fusarium ear blight. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(2(42)):20–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_20

9. Shchekleina L. M., Kharina A. V. Artificial infection background with the use of local population of the fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) tul. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(4(44)):83–90. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_83

10. Zhuykova O. A., Gradoboeva T. P., Batalova G. A. Effectiveness of infectiousbackgrounds in evaluating oat for resistance to fungal diseases. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(3):10–13. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262720030035

11. Zakharenko V. A., Medvedev A. M., Erokhina S. A., Kovalenko E. D., Dobrovol'skaya G. V., Mikhaylov A. A. Methodology for assessing the resistance of field crop cultivars to diseases on infectious and provocative backgrounds. Moscow, 2000. 120 p.

12. Shchekleina L. M., Sheshegova T. K., Utkina E. I. Immunological structure and yield of winter rye varieties bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):172–180. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180

13. Ivanova I. Yu., Ivanova A. O., Il'ina S. V. Correlation dependence of soft spring wheat productivity on productivity elements. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2019;(4(32)):119–125. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11142

14. Zhuikova O. A., Batalova G. A. Analysis of adaptability of oat varieties and lines by productivity elements in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):949–957. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957

Сведения об авторах

✉ **Жуйкова Ольга Анатольевна,** кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3290-4827, e-mail: zhuikova_o@mail.ru

Баталова Галина Аркадьевна, доктор с.-х. наук, академик РАН, заведующая отделом селекции овса, заместитель директора по селекционной работе, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3491-499X

Information about the authors

✉ **Olga A. Zhuikova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Oat Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3290-4827**,
e-mail: zhuikova_o@mail.ru

Galina A. Batalova, DSc in Agricultural Science, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Oat Breeding, Deputy Director for Breeding Work, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3491-499X

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.317–327
УДК 633.522:631.81:631.54

Применение фунгицидов при выращивании технической конопли для повышения урожайности и улучшения качества продукции

© 2025. И. В. Бакулова ✉, И. И. Плужникова, Н. В. Криушин
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Представлены результаты исследований за 2022–2024 гг. по биологической эффективности фунгицидных препаратов, их влиянию на рост и развитие растений, урожайность и качество коноплепродукции нового сорта конопли посевной Людмила в условиях Пензенской области. Схема полевого опыта включала обработку фунгицидами: почвы опытного участка – Стернифаг, СП; семян – Селест Топ, КС; Баксис, Ж; Бактофит, СП; Селест Топ, КС+Баксис, Ж; посевов – Баксис, Ж; Бактофит, СП. В контрольном варианте фунгициды не применяли. В среднем за годы исследований обработка семян изучаемыми препаратами позволила повысить лабораторную всхожесть с 89,7 % в контроле до 93,0–96,0 % в вариантах защиты, наилучший результат – при применении инсектофунгицида Селест Топ, КС. Нанесение на семена конопли изучаемых препаратов позволило повысить устойчивость проростков к возбудителям заболеваний, биологическая эффективность фунгицидов составила 40,6–77,9 %. На участке с обработкой биологическим фунгицидом Стернифаг, СП отмечено формирование более продуктивных растений, прибавка урожайности семян к контролю составила 0,07 т/га, или 5,6 %. Наибольшую прибавку урожайности семян (0,11–0,15 т/га) получили при использовании биологического препарата Баксис, Ж и инсектофунгицида Селест Топ, КС, а также их комбинации. Содержание в стеблях конопли общего волокна варьировало в опыте от 24,2 до 33,9 %, длинного – от 11,3 до 20,9 %, применение почвенного фунгицида Стернифаг, СП повышало общее содержание волокна на 0,93 % и длинного волокна на 1,52 %. Обработка семян перед посевом увеличивала выход длинного волокна на 1,04–1,92 % при 15,11 % в контроле.

Ключевые слова: *конопля посевная, некорневая подкормка, фунгицид, структура урожая, волокно*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Применение фунгицидов при выращивании технической конопли для повышения урожайности и улучшения качества продукции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):317–327. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.317-327

Поступила: 21.01.2025 Принята к публикации: 04.04.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Application of fungicides in cultivation of industrial hemp to increase yield and improve product quality

© 2025. Irina V. Bakulova ✉, Irina I. Pluzhnikova, Nikolai V. Kriushin
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The results of research for 2022–2024 on the biological efficacy of fungicide preparations, their effect on the growth and development of plants, yield and quality of hemp products of a new cultivar of hemp 'Ludmila' under the conditions of Penza region are presented. The scheme of the field experiment included treatment with fungicides: soil of the experimental plot – Sterniphag, SP; seeds – Celest Top, CS; Bacsis, ZH; Bactofit, SP; Celest Top, CS+Bacsis, ZH; crops - Bacsis, ZH; Bactofit, SP. In the control variant fungicides were not applied. On average, during the years of the research, seed treatment with the studied preparations allowed increasing laboratory germination from 89.7 % in the control to 93.0–96.0 % in the protection variants, the best result was obtained with application of insectofungicide Celest Top, CS. Application of the studied preparations to hemp seeds allowed to increase the resistance of seedlings to pathogens, the biological efficiency of fungicides amounted to 40.6–77.9 %. On the plot with treatment with biological fungicide Sterniphag, SP the formation of more productive plants was noted, the increase in seed yield to the control amounted to 0.07 t/ha, or 5.6 %. The highest increase in seed yield (0.11–0.15 t/ha) was obtained with the use of biological preparation Bacsis, ZH and insectofungicide Celest Top, CS, as well as their combination. The content of total fiber in hemp stems varied from 24.2 to 33.9 %, long fiber – from 11.3 to 20.9 %, the use of soil fungicide Sterniphag, SP increased the total fiber content by 0.93 % and long fiber by 1.52 %. Seed treatment before sowing increased the yield of long fiber by 1.04–1.92 % at 15.11 % in the control.

Keywords: *cannabis sativa, foliar top dressing, fungicide, crop structure, fiber*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2022-0008).

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of Interest: the authors have declared no conflict of interest.

For citations: Bakulova I. V., Pluzhnikova I. I., Kriushin N. V. Application of fungicides in cultivation of industrial hemp to increase yield and improve product quality. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):317–327. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.317-327

Received: 21.01.2025 Accepted for publication: 04.04.2025 Published online: 29.04.2025

Конопля – уникальная по биологическим особенностям техническая культура, так как является абсолютно безопасной, высокопродуктивной, практически безотходной и позитивно влияющей на экологию. Символом экологии и природной пользы конопля становится заслуженно, так как является источником сырья для производства продукции, используемой в различных отраслях экономики [1, 2, 3]. Кроме того, конопля повышает плодородие почвы, является одним из лучших фиторекультиваторов повреждённых, зараженных и разрушенных земель, даёт высокие урожаи и способствует развитию сельских районов. Это создает новые рабочие места, стимулирует экономику и улучшает качество жизни местного населения[1, 2]. В настоящее время благодаря своим уникальным свойствам конопля приобретает новые инновационные направления использования во многих экологически ориентированных сферах народного хозяйства[3]. Культура имеет высокий потенциал для решения проблем лёгкой и пищевой промышленности, медицины и других сфер. Поэтому ее популярность растёт, многие страны увеличивают производство значительными темпами. Россия не является исключением. Согласно информации Росстата[4], площади под коноплёй посевной в 2024 году составили чуть более 16 тыс. га, из них 59,4 % посевов находится в Приволжском федеральном округе, 24,8 % – Центральном, 5,5 % – Уральском, 4,8 % – Сибирском, 2,4 % – Северо-Западном, 0,6 % – Дальневосточном федеральном округе. О нарастающем интересе российских аграриев к технической конопле свидетельствуют высокие темпы вовлечения в оборот посевных площадей, начиная с 2015 года. Если такая активность бизнеса сохранится, то к 2030 году площадь посевов данной культуры может превысить 50 тыс. гектаров. Это позволит России войти в тройку лидеров по производству конопляного волокна и костры. Если нашим селекционерам и производителям удастся довести урожайность до уровня мировых лидеров (более 14 ц/га), то валовой сбор технической конопли может превысить 70 тыс. тонн. Причем потенциал России по производству волокна и семян значительно выше[5]. Экономика коноплеводства достаточно многогранна и её эффективность зависит от направлений использования сырья данной культуры [3, 4]. Соответственно больше внимания стоит уделить исследованиям по улучшению роста и развития растений, увеличению урожайности семян и стеблей [5, 6]. С появлением приоритетного спроса на продукцию коноплеводства возникла актуальная проблема по производству семян, созданию высокопродуктивных сортов.

Для обеспечения максимального выхода коноплепродукции в технологии возделывания конопли технической целесообразно внедрять эффективные приёмы защиты растений, а также искать дополнительные источники питания. Одним из перспективных направлений является использование биологических препаратов, созданных на основе микроорганизмов, которые контролируют фитосанитарное состояние посевов. Биологические фунгициды, содержащие штаммы бактерий *Bacillus subtilis* или *Trichoderma harzianum*, успешно применяются на масличных культурах [7, 8, 9]. Эти препараты рекомендуются для обработки семенного материала и эффективно борются с серой и белой гнилями, плесневением семян и альтернариозом. Применение биологических препаратов способствует повышению эффективности производства и снижению негативного воздействия на окружающую среду [10, 11, 12].

[1]Вторая жизнь для почвы: как техническая конопля помогает восстанавливать грунты. [Электронный ресурс]. URL: https://telegra.ph/Vtoraya-zhizn-dlya-pochvy-kak-tehnicheskaya-konoplya-pomogaet-vosstanavlivat-grunty-02-29 (дата обращения 12.01.2025).

[2]Конопля – это чудо природы. [Электронный ресурс]. URL: https://plus-one.ru/ecology/2019/03/05/cannabis-nature-miracle (дата обращения 14.01.2025).

[3]Конопля как сельскохозяйственная культура. [Электронный ресурс]. URL: HTTPS://SOVOCRIM.RU/?P=1541 (дата обращения 14.01.2025).

[4]Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о посевных площадях Российской Федерации в 2023 году. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru (дата обращения 15.01.2025).

[5]Рамазанов И. Возделывание технической конопли будет неуклонно расти. [Электронный ресурс]. URL: https://rg.ru/2022/09/06/reg-cfo/volokno-s-davnej-istoriej.html (дата обращения 15.01.2025).

На сегодняшний день в списке разрешенных пестицидов и агрохимикатов на территории РФ для конопли зарегистрирован один регулятор роста и развития растений. Эта группа агрохимикатов важна для сельхозтоваропроизводителей, так как позволяет регулировать рост и развитие растений, снижать стрессы и способствовать получению семян и волокна высокого качества [13]. В связи с этим актуальной является оценка эффективности биологических препаратов при обработке почвы и семян, а также их влияния на рост и развитие растений для повышения урожайности культуры. Проблема стабилизации и повышения урожайности, а также качества продукции путём более точного применения элементов технологии возделывания имеет научную и практическую значимость [14, 15, 16].

Цель исследований – определить биологическую эффективность фунгицидных препаратов, их влияние на рост и развитие растений, урожайность и качество коноплепродукции нового сорта конопли посевной Людмила в условиях Пензенской области.

Научная новизна – в природно-климатической зоне Пензенской области проводится приоритетное исследование по комплексному влиянию фунгицидных препаратов на урожайность и качество продукции конопли посевной нового сорта Людмила.

Материал и методы. Научные исследования проводили на опытном поле ОП Пензенский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК в соответствии с общепринятыми методиками с широким использованием полевых исследований[6, 7].

Почва участка – чернозём выщелоченный, среднемощный, тяжелосуглинистый с агрохимическими показателями: $pH_{сол}$[8] – 5,1; содержание гумуса[9] – 5,7 %; подвижного фосфора[10] – 211 мг/кг; обменного калия – 190 мг/кг; гидролизуемого азота[11] – 132 мг/кг. В почве содержится бор[12] 1,4–2,0 мг/кг, медь 0,04–0,07 мг/кг, цинк 0,4–1,0 мг/кг, молибден 0,14 мг/кг почвы[13].

Объект исследований – сорт конопли посевной Людмила, среднеспелый, длительность периода от массовых всходов до технической зрелости волокна составляет 75–80 суток, от массовых всходов до массового созревания семян 118–125 суток. Сорт Людмила обладает высокой устойчивостью к засушливым условиям вегетации и комплексу микопатогенов, распространённых в регионе Среднего Поволжья. Устойчивость сорта к полеганию высокая, осыпанию – средняя. Сорт пригоден к механизированной уборке и предназначен для получения высококачественного волокна, в том числе для потребностей современной текстильной промышленности.

Предшественник – чистый пар.

Схема трёхфакторного полевого опыта включала изучение следующих факторов и градаций:

Фактор А – обработка почвы опытного участка:

1) контроль (обработка водой);

2) опрыскивание участка непосредственно перед посевом почвенным биофунгицидом Стернифаг, СП[14] (80 г/га) с заделкой в почву культиватором КПС-4,2.

---

[6]Методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей. Сост. Г. Р. Бедак [и др.]. М.: ВАСХНИЛ. 1980. 34 с.

[7]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Сельхозиздат, 1983.183 с.

[8]ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с. URL: https://gostassistent.ru/doc/27dcd741-c5ba-4e59-b234-16ced762f799

[9]ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1991. С. 8. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf

[10]ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1991. С. 8. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/2e0/4294828276.pdf

[11]Методические указания по определению щелочногидролизуемого азота в почве по методу Корнфилда. Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО). М., 1985. С. 9.

[12]ГОСТ Р 50688-94. Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1994. С. 16. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/24e/4294819398.pdf

[13]ГОСТ ISO 16198-2017. Качество почв. Метод определения биодоступности микроэлементов почвы для растений. М.: Стандартинформ, 2019. С. 49. URL: https://files.stroyinf.ru/Data/654/65436.pdf

[14]Стернифаг, СП. АгроXXI. [Электронный ресурс]. URL: https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/sternifag-sp-2.html (дата обращения 15.01.2025).

Фактор В – предпосевная обработка семян:

1) контроль (обработка водой);
2) Селест Топ, КС[15] (3 л/т);
3) Баксис, Ж[16] (1 л/т);
4) Бактофит, СП[17] (3 кг/т);
5) Селест Топ, КС (3 л/т) + Баксис, Ж (1 л/т).

Фактор С – двукратная некорневая обработка растений в фазы двух и пяти пар настоящих листьев:

1) контроль (без обработки);
2) Бактофит, СП (2 кг/га);
3) Баксис, Ж (2 л/га).

В опыте использовали фунгицидные препараты:

Стернифаг, СП – биологический фунгицид на основе *Trichoderma harzianum*, штамм ВКМ F-4099D, титр не менее 10^{10} КОЕ/г;

Селест Топ, КС – комбинированный инсектофунгицидный протравитель семян, действующее вещество: тиаметоксам (262,5 г/л) + дифеноконазол (25 г/л) + флудиоксонил (25 г/л);

Баксис, Ж – микробиологический фунгицидный препарат на основе *Bacillus subtilis*, штамм 26 Д + *Bacillus subtilis*, штамм 63-Z, титр не менее 10^9 КОЕ/мл;

Бактофит, СП – биологический фунгицидный препарат на основе *Bacillus subtilis*, штамм ИПМ 215 (БА-10000 ЕА/мл, титр не менее 2 млрд спор/г).

Повторность опыта четырёхкратная, площадь опытной делянки – 20 м^2. Способ посева широкорядный (ширина междурядий 45 см), норма высева – 0,9 млн всхожих семян на гектар. Посев сеялкой СН-16 при наступлении физической спелости почвы провели в 2022 году 1 мая, 2023 году – 30 апреля, в 2024 году – 27 апреля.

В рамках эксперимента проводили лабораторные опыты. Нанесение протравителей на семенной материал в лабораторных условиях проводили вручную с использованием круглодонной колбы. Расход рабочей жидкости – 10 л/т. Определение возбудителей болезней проводили согласно справочному пособию на седьмые сутки[18].

В полевых опытах осуществляли фенологические наблюдения, определяли густоту стеблестоя в фазу массовых всходов и перед уборкой. Уровень биологической активности почвенной микрофлоры определяли по степени разложения льняных тканей, заложенных в слой почвы 30 см через неделю после посева культуры, результаты оценивали через 1, 2 и 3 месяца после закладки льняного полотна в пахотный слой. Определяли морфометрические характеристики растений в фазу «начало созревания семян», биохимические и хозяйственно полезные признаки и свойства. Контроль и анализ данных выполняли согласно методическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов[19]. Уборку и учёт проводили путём ручного скашивания стеблестоя и обмолота уборочных снопов после их сушки на стационаре, урожай семян и стеблей приводили к стандартной (13%-й и 25%-й соответственно) влажности. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову[20].

Погодные условия за вегетационные периоды 2022–2024 гг. представлены на рисунке 1. За вегетацию в 2022 году сумма активных температур составила 2346,8 °С при 188,0 мм осадков, ГТК[21] периода – 0,80. В 2023 году сумма активных температур составила 2104,0 °С при 186,5 мм осадков, ГТК – 0,85. В 2024 году за период «всходы – массовое созревание семян» суммарно отмечено 196,6 мм осадков на фоне 2140 °С активных температур. Различия по метеорологическим условиям вегетационных периодов наложили свой отпечаток на рост и развитие нового сорта конопли посевной Людмила, эффективность изучаемых приёмов.

[15]Селест Топ, КС. АгроXXI. [Электронный ресурс].
URL: https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/selest-top-ks-4.html (дата обращения 15.01.2025).
[16]Баксис, Ж. АгроXXI. [Электронный ресурс].
URL: https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/baksis-j.html (дата обращения 15.01.2025).
[17]Бактофит, СП. АгроXXI. [Электронный ресурс].
URL: https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/baktofit-sp-3.html (дата обращения 15.01.2025).
[18]Билай В. И., Гвоздяк Р. И., Скрипаль И. Г. Микроорганизмы – возбудители болезней растений. Киев: Наукова Думка, 1988. 552 с.
[19]Долженко В. И. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ГНУ ВНИИЗР, 2009. 379 с.
[20]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., пер. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
[21]Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

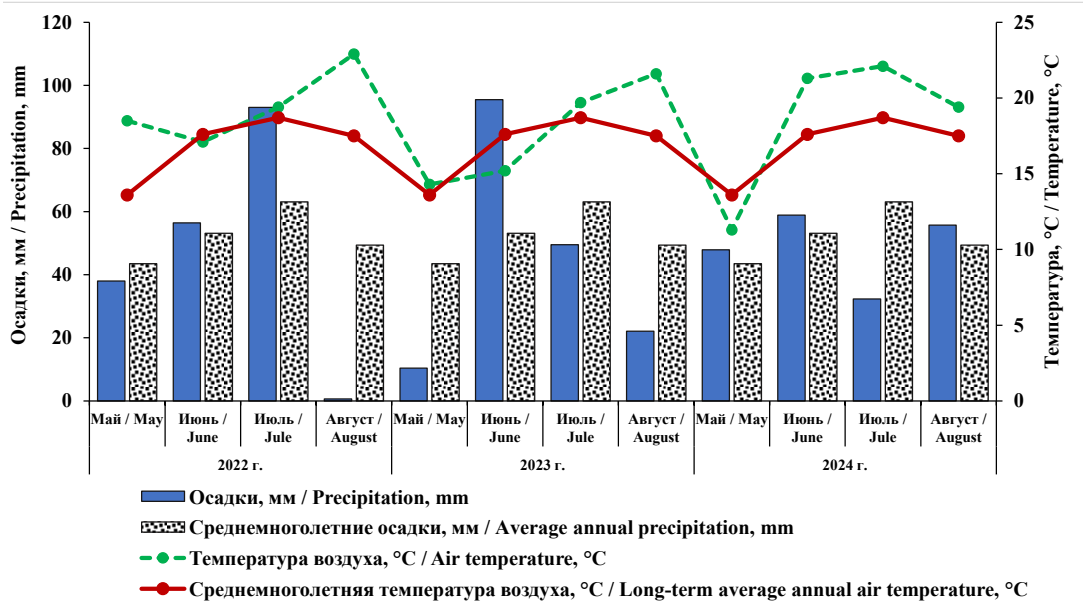


Рис. 1. **Метеоусловия вегетационных периодов конопли посевной сорта Людмила (2022–2024 гг.) /**
Fig. 1. **Meteorological conditions of vegetation periods of hemp cultivar 'Ludmila' (2022–2024)**

В межфазный период «посев – всходы» в 2022 г. выпало 4,9 мм при среднесуточной температуре 16,8 °C (ГТК – 0,22). В 2023 г. появление всходов отмечено на седьмые сутки при оптимальном увлажнении для роста растений (ГТК – 1,03). В 2024 г. данный период характеризовался избыточным увлажнением (ГТК – 3,2) с осадками в виде дождя и мокрого снега. Период проведения первой некорневой обработки в фазу двух пар настоящих листьев характеризовался как недостаточно увлажненный в 2022 году (ГТК – 0,80), сухой – в 2023 и 2024 годах (ГТК – 0,26 и 0,50). Вторую некорневую обработку в фазу пяти пар настоящих листьев в 2022 и 2023 гг. проводили также в условиях недостаточного увлажнения (ГТК – 0,55 и 0,53 соответственно), в 2024 г. – при улучшении гидротермических условий (ГТК – 0,79). Межфазный период роста и развития конопли «цветение – созревание семян» в 2022 г. был засушливым (ГТК – 0,16), в 2023 г. – недостаточно увлажненным (ГТК – 0,55), в 2024 г. – более благоприятным по увлажнению (ГТК – 0,80).

Результаты и их обсуждение. Обработка семян изучаемыми препаратами положительно влияла на повышение лабораторной всхожести от 89,3–90,0 % (в среднем за три года 89,7 %) в контроле до 93,0–96,0 % в вариантах защиты, а также на увеличение длины и массы проростка с корешком относительно контрольного варианта (табл. 1), обеспечивала эффективную защиту проростков от патогенов и подавление их развития в период прорастания и всходов.

Таблица 1 – **Влияние препаратов на лабораторную всхожесть и морфометрические показатели развития проростков конопли посевной сорта Людмила (лабораторный опыт, в среднем за 2022–2024 гг.) /**
Table 1 – **Effect of preparations on laboratory germination and morphometric indices of development of hemp seedlings of 'Ludmila' cultivar (laboratory experiment, average for 2022-2024)**

Вариант опыта / Variant of the experiment	*Морфометрические показатели / Morphometric indicators*			
	лабораторная всхожесть, % / laboratory germination, %	*длина корешка, см / root length, cm*	*длина ростка, см / sprout length, cm*	*масса проростка с корешком, г/растение / weight of a seedling with a root, g/plant*
Контроль / Control	89,7	3,40	1,64	0,047
Селест Топ, КС / Celest Top, CS	96,0	4,68	2,20	0,055
Баксис, Ж / Bacsis, ZH	95,0	5,08	2,20	0,056
Бактофит, СП / Bactofit, SP	93,0	5,13	2,50	0,054
Селест Топ, КС + Баксис, Ж / Celest Top, CS + Bacsis, ZH	95,0	6,63	2,90	0,133
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2,0	0,44	0,19	0,005

В варианте, где семена обрабатывали водой (контроль) выявлены грибы рода *Fusarium spp. и Alternaria spp.,* общая заражённость за годы исследований варьировала от 17,6 до 45,3 %. Нанесение на семена конопли анализируемых препаратов повышало устойчивость проростков против возбудителей заболеваний (табл. 2). Эффективность биологических препаратов Баксис, Ж и Бактофит, СП составила 58,6 и 40,6 %. Наибольший эффект в подавлении семенной инфекции достигнут благодаря применению химического препарата Селест Топ, КС как при использовании самостоятельно, так и в смеси с биологическим препаратом Баксис, Ж – 77,9 и 70,5 %.

Таблица 2 – **Зараженность семян конопли посевной сорта Людмила фитопатогенными грибами и биологическая эффективность препаратов для обработки семян, % (лабораторный опыт, 2022–2024 гг.) /**
Table 2 – **Infestation of seeds of hemp cultivar 'Ludmila' by phytopathogenic fungi and biological efficiency of preparations for seed treatment, % (laboratory experiment, 2022-2024)**

Вариант опыта / Variant of the experiment	*Заражённость фитопатогенами / Infestation with phytopathogens*						*Общая заражённость семян / General infestation of seeds*			*Биологическая эффективность / Biological efficiency*
	Fusarium spp. Link			*Alternaria spp. Nees*						
	2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*	
Контроль / Control	43,3	3,6	-	2,0	14,0	26,0	45,3	17,6	26,0	-
Селест Топ, КС / Celest Top, CS	6,6	-	-	0,0	2,0	11,0	6,6	2,0	11,0	77,9
Баксис, Ж / Bacsis, ZH	16,0	2,0	-	0,7	6,0	12,0	16,7	8,0	12,0	58,6
Бактофит, СП / Bactofit, SP	24,0	2,6	-	2,0	5,0	19,0	26,0	7,6	19,0	40,6
Селест Топ, КС + Баксис, Ж / Celest Top, CS+Bacsis, ZH	7,0	1,0	-	2,0	3,0	13,0	9,0	4,0	13,0	70,5
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	-	-	-	-	-	-	1,2	0,6	4,8	-

В ходе учёта болезней в полевом опыте на растениях конопли выявлены пятнистости листьев, интенсивность поражения составила от 1,0 до 7,5 % ($НСР_{05}$ = 0,7) (рис. 2). Обработанные фунгицидами семена проявляли антогонизм к фитопатогенным грибам, что привело к снижению интенсивности развития пятнистостей. Растения, обработанные бактериями *Bacillus subtilis* (препараты Бактофит, СП и Баксис, Ж), также показали снижение интенсивности поражения пятнистостями до 1,8 и 2,9 % (в среднем по фактору С). При этом в контрольной группе без обработки фунгицидами интенсивность поражения составила 4,2 %. Отмечено снижение развития поражения листовыми пятнистостями на почвенном участке с предпосевным внесением препарата Стернифаг, СП на 0,3 % по сравнению с контролем.

Использование для предпосевной обработки почвы опытного участка биологического фунгицида и стернеразложителя Стернифаг, СП обеспечило повышенную целлюлозолитическую активность почвы. Так, на обработанном этим препаратом участке степень разложения льняных полотен варьировала от 11,4 до 31,7 % против 8,27–30,8 % в контроле. Степень разложения полотна зависела от влагообеспеченности, засушливые условия негативно отражались на интенсивности микробиологических процессов – разложение льняных полотен через 1 и 2 месяца после закладки составило всего 11,4 и 11,8 % в варианте с обработкой Стернифаг, СП против 8,27 и 9,09 % – без обработки. При благоприятных погодных условиях биологическая активность почвы значительно возросла – степень разложения полотна через 3 месяца после закладки достигла 31,7 и 30,8 % (в вариантах с обработкой Стернифаг, СП и контроль).

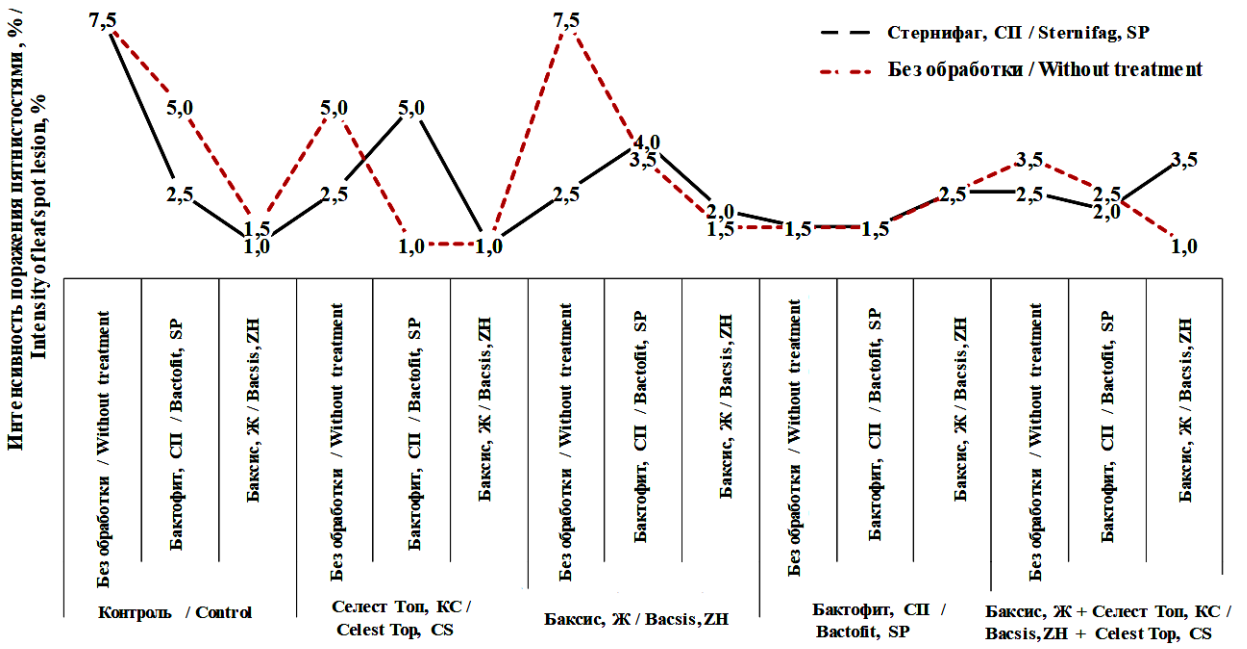


Рис. 2. **Интенсивность поражения листовыми пятнистостями по вариантам средств защиты конопли посевной сорта Людмила, % (полевой опыт, среднее за 2022–2024 гг.) /**

Fig. 2. **Intensity of leaf spot lesion by variants of 'Ludmila' hemp sowing cultivar protection means, % (field experiment, average for 2022–2024)**

Характеристика элементов структуры урожая конопли изменялась по годам исследований в зависимости от метеорологических условий и изучаемых приёмов. В 2022 г. размах варьирования растений по высоте составил 263–306 см при среднем значении 288,8 см, в 2023 г. – 241–301 см при среднем значении 284,0 см, в 2024 г. – 205–239 см, в среднем 222 см. Техническая длина стебля по годам изменялась от 173 и 212 см в 2024 и 2023 гг. до 225 см в 2023 г. Диаметр стебля варьировал от 0,82 мм (2024 г.) до 1,05–1,19 см (2022-2023 гг.), длина соцветия в среднем составила 62 см, размах варьирования по годам – 50–78 см. Обработка семян препаратами с фунгицидными свойствами укрепляет иммунный статус растений, что способствовало более интенсивному росту и развитию растений на всех этапах органогенеза. Высота растений наиболее существенно изменялась под влиянием предпосевной обработки семян, наиболее высокие растения отмечены в вариантах с обработкой семян биологическими препаратами и баковой смесью с инсектофунгицидом, прибавка составила 5–11 см, при этом техническая длина стебля по вариантам изменялась незначительно, коэффициент вариации 5,5. Диаметр стебля и количество междоузлий примерно в равной степени увеличивались с удлинением стебля. Обработка семян баковой смесью препаратов Селест Топ, КС + Баксис, Ж значимо влияла на длину соцветия, в среднем за период наблюдений изучаемый показатель на 9 см больше контроля.

По результатам эксперимента установлено, что применение препарата Стернифаг, СП привело к увеличению значений элементов структуры урожая, что позволяет заключить, что данная обработка положительно повлияет и на урожайность конопли. На участке с обработкой почвенным фунгицидом отмечено общее увеличение сопротивляемости к неблагоприятным факторам и, как следствие, формирование более продуктивных растений – урожайность семян повышалась на 0,07 т/га, или 5,6 %. Достоверная прибавка урожайности семян отмечена во всех вариантах протравливания. Наибольший эффект получили при обработке семян биологическим препаратом Баксис, Ж, инсектофунгицидом Селест Топ, КС и при их комбинации (прибавка 0,11–0,15 т/га) (табл. 3).

Некорневая обработка растений конопли биологическим препаратом Баксис, Ж стимулировала рост и развитие, что положительно повлияло на повышение показателя урожайности, максимальная эффективность достигнута при сочетании предпосевной обработки с обработкой вегетирующих растений, урожайность выше на 0,03–0,09 т/га.

Таблица 3 – **Влияние изучаемых факторов на урожайность семян конопли посевной сорта Людмила, т/га (2022–2024 гг.) /**
Table 3 – **Influence of the studied factors on the yield of hemp seeds of sowing cultivar 'Ludmila', t/ha (2022–2024)**

Обработка почвы (A) / Tillage of the experimental plot (A)	*Предпосевная обработка семян (B) / Pre-sowing seed treatment (B)*	*Некорневая обработка растений (C) / Rootless treatment of plants (C)*	*Урожайность / Yield*				*Откло-нение, ± / Deviation, ±*
			2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*	*среднее / average*	
Без обработки / Without treatment	Контроль / Control	1	1,08	0,71	1,28	1,02	-
		2	1,22	0,84	1,07	1,04	0,02
		3	1,22	0,71	1,32	1,08	0,06
	Селест Топ, КС / Celest Top, CS	1	1,39	1,06	1,25	1,23	0,21
		2	1,23	0,92	1,06	1,17	0,15
		3	1,23	0,90	1,25	1,13	0,11
	Баксис, Ж / Bacsis, ZH	1	1,42	1,10	1,21	1,24	0,22
		2	1,37	1,14	1,16	1,22	0,20
		3	1,37	1,24	1,29	1,30	0,28
	Бактофит, СП / Bactofit, SP	1	1,28	1,10	1,29	1,22	0,20
		2	1,31	0,91	1,32	1,18	0,16
		3	1,31	1,09	1,28	1,23	0,21
	Баксис, Ж + Селест Топ, КС / Bacsis, ZH + Celest Top, CS	1	1,21	0,96	1,35	1,17	0,15
		2	1,46	0,91	1,08	1,15	0,13
		3	1,46	0,96	1,33	1,25	0,23
Стернифаг, СП / Sternifag, SP	Контроль / Control	1	1,41	1,11	1,14	1,22	0,20
		2	1,23	0,98	1,22	1,14	0,12
		3	1,23	1,17	1,25	1,22	0,20
	Селест Топ, КС / Celest Top, CS	1	1,35	1,12	1,19	1,22	0,20
		2	1,53	1,34	1,26	1,38	0,36
		3	1,53	1,23	1,26	1,34	0,32
	Баксис, Ж / Bacsis, ZH	1	1,33	1,17	1,26	1,25	0,23
		2	1,26	1,29	1,28	1,28	0,26
		3	1,20	1,46	1,31	1,32	0,30
	Бактофит, СП / Bactofit, SP	1	1,32	0,89	1,30	1,17	0,15
		2	1,20	0,95	1,34	1,16	0,14
		3	1,18	1,10	1,29	1,19	0,17
	Баксис, Ж + Селест Топ, КС / Bacsis, ZH + Celest Top, CS	1	1,45	0,82	1,40	1,22	0,20
		2	1,19	1,07	1,45	1,24	0,22
		3	1,19	1,40	1,41	1,33	0,31
$НСР_{05}$ (A) / LSD_{05} (A)			NS	0,06	0,06	-	-
$НСР_{05}$ (B) / LSD_{05} (B)			0,06	0,09	0,08	-	-
$НСР_{05}$ (C) / LSD_{05} (C)			0,04	0,07	NS		-
$НСР_{05}$ (AB) / LSD_{05} (AB)			NS	0,13	NS	-	-
$НСР_{05}$ (BC) / LSD_{05} (BC)			0,08	0,17	NS	-	-
$НСР_{05}$ (ABC) / LSD_{05} (ABC)			0,11	0,23	0,17	-	-

Примечание: 1 – Без обработки; 2 – Бактофит, СП; 3 – Баксис, Ж; NS – различия несущественны при p = 0,05 /
Note: 1 – Without treatment; 2 – Bactofit, SP; 3 – Bacsis, ZH; NS – differences are insignificant at p = 0.05

В среднем по опыту в стеблях конопли содержание общего волокна варьировало от 24,2 до 33,9 %, длинного – от 11,3 до 20,9 %, возрастание исследуемых параметров обусловили следующие изучаемые факторы – некорневая обработка растений и обработка почвы опытного участка. Применение почвенного биологического фунгицида Стернифаг, СП на основе микроскопического гриба *Trichoderma harzianum* обеспечило защиту стебля от пятнистостей, что положительно отразилось на качестве – общее содержание волокна повысилось на 0,93 %, выход длинного волокна увеличился на 1,52 %. Влияния предпосевной обработки семян на содержание общего количества волокна в стебле не установлено, но отмечено повышение выхода длинного волокна на 1,04–1,92 % во всех вариантах с обработкой семян, анализируемый показатель составил от 16,20 до 16,85 % при 15,11 % в контроле.

Заключение. Обработка семян конопли нового сорта Людмила изучаемыми препаратами позволяет повысить лабораторную всхожесть от 89,7 % в контроле до 93,0–96,0 % в вариантах защиты, наилучший результат получили в варианте с применением инсектофунгицида Селест Топ, КС – 96 %. Нанесение на семена конопли анализируемых препаратов позволило повысить устойчивость проростков против возбудителей грибных заболеваний родов *Fusarium spp. и Alternaria spp.*, биологическая эффективность препаратов составила 40,6–77,9 %.

Использование при подготовке участка перед посевом биологического фунгицида Стернифаг, СП положительно влияло на характер роста растений конопли, отмечено снижение распространённости поражения листовыми пятнистостями, что в конечном итоге положительно отразилось на качественных показателях признаков продуктивности культуры. На участке с обработкой Стернифаг, СП отмечено формирование более продуктивных растений, прибавка урожайности семян к контролю составила 0,07 т/га, или 5,6 %. Наибольшую прибавку урожайности семян (0,11–0,15 т/га) получили при использовании биологического препарата Баксис, Ж, инсектофунгицида Селест Топ, КС, а также их комбинации. Урожайность общего волокна варьировала от 24,2 до 33,9 %, длинного – от 11,3 до 20,9 %, применение почвенного фунгицида Стернифаг, СП повышало общее содержание волокна на 0,93 %, выход длинного волокна – на 1,52 %. Обработка семян перед посевом влияла на выход длинного волокна, анализируемый показатель увеличился на 1,04–1,92 % при 15,11 % в контроле.

В результате проведенных исследований установлено, что совместное использование фунгицида Стернифаг, СП при подготовке почвы опытного участка и двукратная некорневая обработка растений Баксис, Ж положительно влияли на урожайность семян (прибавка к контролю 0,17–0,31 т/га), при этом содержание общего и длинного волокна в стебле увеличилось относительно контроля на 2,7 %. Положительный эффект от предпосевной обработки семян достигли при использовании комбинации Селест Топ, КС + Баксис, Ж, урожайность составила 1,33 т/га, 0,31 т/га – прибавка к контролю.

Список литературы

1. Филиппов М. В., Тимченко А. А., Лебедев В. Г., Пушин А. С., Долгов С. В. Разработка методики культивирования *in vitro* отечественных сортов конопли (*Cannabis sativa* L.) Селекция против наркотиков: мат-лы II международ. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. С. 113–121.

2. Кабунина И. В. Современные направления использования коноплепродукции. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021;(1(1)):4–10. DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2021.1.1.001 EDN: LFWYWC

3. Хоружий Л. И., Ашмарина Т. И. Перспективы развития коноплеводства. Экономика сельского хозяйства России. 2021;(3):50–55. DOI: https://doi.org/10.32651/213-50 EDN: ZCQWZE

4. Асаналиев А. Ж., Нургазиев Р. З., Белек У. Э., Султанбаева В. А., Баялиева К. Ж., Тулеев Т. К. Выращивание конопли посевной в Кыргызстане как сельскохозяйственной культуры экономически выгодно. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2023;(3(66)):124–130. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54995068 EDN: WOMEMK

5. Оманова О. У., Давронов К. А. Важность фунгицидов и стимуляторов в подготовке семян к посеву. Экономика и социум. 2021;(10(89)):1392–1396. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vazhnost-fungitsidov-i-stimulyatorov-v-podgotovke-semyan-k-posevu?ysclid=m7lswt7hep284256859

6. Игольникова Л. В. Применение биотехнологий в производственных опытах. Научно-агрономический журнал. 2020;(1(108)):42–48. DOI: https://doi.org/10.34736/FNC.2020.108.1.009.42-48 EDN: KYDLQL

7. Криушин Н. В., Бакулова И. В., Плужникова И. И. Агроприёмы возделывания конопли посевной. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022;(6(390)):636–639. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_636 EDN: YQKVGW

8. Гущина В. А., Сологуб И. И. Влияние микробиологических препаратов на показатели продуктивности конопли технической. Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации: сб. ст. Международ. научн.-прак. конф. Пенза: Пензенский ГАУ, 2024. С. 131–134. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67128187 EDN: RWCACP

9. Гущина В. А., Сологуб Н. Н., Сологуб И. И. Микробиологические удобрения в технологии возделывания конопли посевной. Нива Поволжья. 2024;(3(71)):1007. DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2024.71.3.014 EDN: LXCPXG

10. Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Применение биологических препаратов в технологии возделывания конопли посевной. Аграрный научный журнал. 2024;(9):9–15. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2024i9pp9-15 EDN: TBZECQ

11. Саскевич П. А., Коготько Л. Г., Кажарский В. Р., Дуктов В. П., Журавский А. С., Устинова Н. В. Оценка применения фунгицидов в посевах подсолнечника. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(3):54–59. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49467978 EDN: OYPQFQ

12. Гришечкина Л. Д., Павлюшин В. А. Стернифаг для защиты посевов зерновых колосовых культур от корневой гнили. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Становление и перспективы развития органического земледелия в Российской Федерации: мат-лы Международн. научн.-практ. конф. Краснодар, 2018. С. 193–195. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35596952 EDN: XZENSH

13. Серков В. А., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И. Применение защитно-стимулирующих комплексов на технической конопле. Агрохимия. 2020;(2):51–60. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188120020131 EDN: ANWFBQ

14. Рыжов И. А. Значение технологии возделывания сельскохозяйственных культур в повышении эффективности растениеводства. Биология в сельском хозяйстве. 2016;(3(12)):14–17. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xayfbv EDN: XAYFBV

15. Casillas A. Propagation of Cannabis sativa for commercial production. Materials of the annual meeting of the International Society of Plant Breeders. Acta Horticulturae 2016;1174(29):157–158. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1174.29

16. Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Элементы сортовой технологии возделывания нового сорта конопли посевной Людмила. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(3):388–394. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740-2024-25-3-388-394 EDN: MSCUXT

References

1. Filippov M. V., Timchenko A. A., Lebedev V. G., Pushin A. S., Dolgov S. V. Development of methods for *in vitro* cultivation of domestic cannabis cultivars (*Cannabis sativa* L.) Breeding against drugs: Proceedings of the II international conf. Penza: *RIO PGSKhA*, 2007. pp. 113–121.

2. Kabunina I. V. Modern trends the use of hemp products. *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = Technical crops Scientific agricultural journal. 2021;(1(1)):4–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2021.1.1.001

3. Khoruzhiy L. I., Ashmarina T. I. Prospects for the development of hemp breeding. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2021;(3):50–55. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32651/213-50

4. Asanaliev A. Zh., Nurgaziev R. Z., Belek U. E., Sultanbaeva V. A., Bayalieva K. Zh., Tuleev T. K. Growing industrial hemp in Kyrgyzstan as an agricultural crop is economically profitable. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K. I. Skryabina*. 2023;(3(66)):124–130. (In Kyrgyzstan). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54995068

5. Omanova O. U., Davronov K. A. The importance of fungicides and stimulants in preparing seed grains. *Ekonomika i sotsium.* 2021;(10(89)):1392–1396. (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vazhnost-fungitsidov-i-stimulyatorov-v-podgotovke-semyan-k-posevu?ysclid=m7lswt7hep284256859

6. Igolnikova L. V. Application of biotechnologies in production experiments. *Nauchno-agronomicheskiy zhurnal* = Scientific Agronomy Journal. 2020;(1(108)):42–48. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.34736/FNC.2020.108.1.009.42-48

7. Kriushin N. V., Bakulova I. V., Pluzhnikova I. I. Agricultural methods of cultivation of hemp sown. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2022;(6(390)):636–639. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_636

8. Gushchina V. A., Sologub I. I. The effect of microbiological preparations on the productivity of technical cannabis. Regional problems of sustainable development of the agro-industrial complex in the context of digital transformation: collection of articles of the International scientific and practical conference. Penza: *Penzenskiy GAU*, 2024. pp. 131–134. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67128187

9. Gushchina V. A., Sologub N. N., Sologub I. I. Microbiological fertilizers in hemp cultivation technology. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2024;(3(71)):1007. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2024.71.3.014

10. Bakulova I. V., Pluzhnikova I. I., Kriushin N. V. The use of biological preparations in the technology of seed hemp cultivation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2024;(9):9–15. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2024i9pp9-15

11. Saskevich P. A., Kogot'ko L. G., Kazharskiy V. R., Duktov V. P., Zhuravskiy A. S., Ustinova N. V. Assessment of the use of fungicides in sunflower crops. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(3):54–59. (In Belarus).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49467978

12. Grishechkina L. D., Pavlyushin V. A. Sterniphag for protection of grain crops from root rot. Biological protection of plants is the basis for the stabilization of agro–ecosystems. Formation and prospects of organic farming development in the Russian Federation: Proceedings of International scientific and practical conference. Krasnodar, 2018. pp. 193–195. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35596952

13. Serkov V. A., Belopukhov S. L., Dmitrievskaya I. I. Application of protective-stimulating complexes on technical hemp. *Agrokhimiya*. 2020;(2):51–60. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188120020131

14. Ryzhov I. A. Value of technology of cultivation of crops in increase in efficiency of crop production. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = Biology in agriculture. 2016;(3(12)):14–17. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xayfbv

15. Casillas A. Propagation of Cannabis sativa for commercial production. Materials of the annual meeting of the International Society of Plant Breeders. Acta Horticulturae 2016;1174(29):157–158.
DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1174.29

16. Bakulova I. V., Pluzhnikova I. I., Kriushin N. V. Elements of varietal technology of cultivation of a new cannabis sativa variety ‘Lyudmila’. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):388-394. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.388-394

Сведения об авторах

✉ **Бакулова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fnclk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8504-1001, e-mail: i.bakulova.pnz@fnclk.ru

Плужникова Ирина Ивановна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9161-4803**

Криушин Николай Викторович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6597-2543**

Information about the authors

✉ **Irina V. Bakulova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fnclk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8504-1001, e-mail: i.bakulova.pnz@fnclk.ru

Irina I. Pluzhnikova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fnclk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9161-4803

Nikolai V. Kriushin, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fnclk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6597-2543

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.328–338
УДК 631.51:631.4

Эффективность ресурсосберегающих приемов обработки тёмно-серой лесной почвы в звене севооборота

© 2025. Д. А. Дементьев ✉, И. Ю. Иванова, А. А. Фадеев
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье рассматривается воздействие различных агрегатов для основной осенней обработки тёмно-серой лесной почвы на её агрофизические показатели, продуктивность и экономическую эффективность звена севооборота. Опыт проводили в условиях Чувашской Республики в звене севооборота «яровая пшеница – горох – озимая рожь» (2022–2024 гг.). Варианты осенней обработки почвы: отвальная вспашка ПЛН-3-35 на глубину 20–22 см (контроль); безотвальные обработки – стерневая культивация KOS-3.0 на 14–16 см, дискование агрегатом БДМ-4-3,2 на 12–14 см; без осенней обработки. Предпосевную культивацию во всех вариантах опыта выполняли комбинированным орудием Паук-6 на 6–8 см. По значениям гидротермического коэффициента (ГТК) условия вегетации в 2022 году были оптимальными для возделывания культур (ГТК = 1,0), в 2023-2024 гг. – сильно засушливыми (ГТК = 0,6). Наибольший эффект среди вариантов осенней обработки почвы получен при безотвальной стерневой культивации: плотность почвы незначительно отличалась от вспашки; запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см превышали контроль на 1,9–5,5 %; отмечен более высокий коэффициент структурности почвы (3,3) по сравнению с остальными вариантами опыта (3,0…2,7); продуктивность звена севооборота (8,53 т/га зерн. ед.) получена на уровне контроля (8,83 т/га зерн. ед.); рентабельность возделывания культур в звене севооборота составила 25,1 %, на 11,1 % выше контроля. Вариант опыта без осенней обработки почвы (предпосевная культивация комбинированным агрегатом Паук-6), несмотря на существенное снижение продуктивности звена севооборота (6,94 т/га зерн. ед.), выделился по рентабельности производства продукции (59,4 %) за счёт существенного сокращения прямых затрат. Кроме того, отмечено благоприятное влияние минимальной обработки на структуру почвы (доля фракций <0,25 мм на 58 % ниже, чем по вспашке) и сохранение запасов продуктивной влаги.

Ключевые слова: *вспашка, минимальная обработка, структура почвы, ресурсосбережение, комбинированный агрегат*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дементьев Д. А., Иванова И. Ю., Фадеев А. А. Эффективность ресурсосберегающих приемов обработки тёмно-серой лесной почвы в звене севооборота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):328–338. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.328-338

Поступила: 05.02.2025 Принята к публикации: 15.04.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The effectiveness of resource-saving methods of tillage of dark gray forest soil in the crop rotation link

© 2025. Dmitriy A. Dementyev✉, Inga Yu. Ivanova, Andrey A. Fadeev
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article examines the impact of various aggregates for primary autumn tillage of dark gray forest soil on its agrophysical parameters, productivity and economic efficiency of the crop rotation link. The experiment was carried out in the conditions of the Chuvash Republic in the "spring wheat – peas – winter rye" crop rotation (2022–2024). Autumn tillage variants were: moldboard ploughing with PLN-3-35 plow to a depth of 20–22 cm (control); nonmoldboard tillage - stubble cultivation with KOS-3.0 to 14–16 cm, disking with BDM-4-3.2 unit to 12–14 cm; without autumn tillage. Pre-sowing cultivation for all experimental variants was carried out with a combined Pauk-6 implement to 6–8 cm. According to the values of the hydrothermal coefficient (HTC), the vegetation conditions in 2022 were optimal for crop cultivation (HTC = 1.0), and in 2023-2024 they were severely arid (HTC = 0.6). The greatest effect among the autumn tillage variants was obtained with nonmoldboard stubble cultivation: the soil density slightly differed from plowing, and the reserves of productive moisture in the 0-30 cm soil layer exceeded the control by 1.9–5.5 %; a higher soil pedality coefficient (3.3) was noted compared to the other experimental variants (3.0...2.7); the productivity of the crop rotation link (8.53 t/ha grain units) was obtained at the control

level (8.83 t/ha grain units); the profitability of crop cultivation in the crop rotation link was 25.1 %, by 11.1 % above control. A variant of the experiment without autumn tillage (pre-sowing cultivation with a combined Pauk-6 unit), despite a significant decrease in the productivity of the crop rotation link (6.94 t/ha of grain units), stood out in terms of profitability of production (59.4 %) due to a significant reduction in direct costs. In addition, the beneficial effect of minimal tillage on the soil structure (the portion of fractions <0.25 mm is 58 % lower than after plowing) and the preservation of productive moisture reserves was noted.

Keywords: *plowing, minimal tillage, soil structure, resource conservation, combined unit*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0005).

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of Interest: the authors have declared no conflict of interest.

For citation: Dementyev D. A., Ivanova I. Yu., Fadeev A. A. The effectiveness of resource-saving methods of tillage of dark gray forest soil in the crop rotation link. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostok a*= Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):328–338. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.328-338

Received: 05.02.2025 Accepted for publication: 15.04.2025 Published online: 29.04.2025

Всё чаще приверженцы традиционного сельского хозяйства сталкиваются с нехваткой производственных ресурсов при низкой эффективности отрасли. По мнению отечественных и зарубежных исследователей, традиционная система земледелия часто характеризуется высокими темпами потребления энергии ископаемого топлива, чрезмерным использованием питательных веществ, деградацией почвы [1]. Агроклиматический потенциал большей части регионов России существенно ниже, чем в ведущих западных странах, поэтому сельское хозяйство имеет повышенную потребность в топливо-энергетических, технических и прочих ресурсах. В сравнении со странами-лидерами производительность труда в отрасли ниже, а энергоёмкость продукции выше. Это делает проблему ресурсосбережения в аграрном секторе особенно актуальной. Один из способов сокращения ресурсозатрат – это минимизация обработок почвы и внедрение комбинированных агрегатов [2]. Следует учитывать, что использование различных почвообрабатывающих агрегатов и орудий при создании благоприятных условий для возделывания культурных растений приводит к распылению почвы, развитию процессов эрозии и дефляции. Поэтому перед земледельцем, помимо получения урожая, стоит задача по сохранению почвенного ресурса. Кроме внедрения комбинированных агрегатов, желательно дополненных мульчирующими катками, этому способствует и внесение органического вещества, в том числе самого доступного – побочной продукции растениеводства, особенно зерновых культур [3, 4]. Минимализация обработки почвы существенно сокращает потери питательных элементов, фракций пыли и ила, улучшает водопроницаемость и водостойкость агрегатов, хотя доля глыбистых фракций при этом увеличивается [5].

Основные агротехнические факторы снижения отрицательного воздействия климатических условий – это обоснованные севообороты и рациональные технологии обработки почвы. Важно определить оптимальные варианты воздействия на почву для получения хороших урожаев и сокращения ресурсозатрат. Для изучения данного вопроса проведены исследования в различных агроклиматических условиях. Так, в опытах Ульяновского ГАУ решающим фактором при получении высокой урожайности являлась именно обработка почвы. Урожайность культур была наибольшей при комбинированной обработке, когда за 6-польную ротацию севооборота проводили 2 вспашки и безотвальную обработку, по сравнению с дискованием, безотвальным рыхлением и плоскорезной обработкой [6, 7]. В Самарской области при возделывании ячменя замена вспашки на поверхностное рыхление агрегатом ОПО-4,25 привела к прибавке урожайности на 14,6 %. Однако только лишь знание об увеличении или уменьшении продуктивности не даёт понимания, как обработки влияют на почву [8]. В опытах Курского федерального аграрного научного центра выявили, что при вспашке, несмотря на снижение плотности почвы в посевах сои, в структурно-агрегатном составе содержание частиц почвы менее 0,25 мм было почти в два раза больше, чем при комбинированной, поверхностной обработке или прямом посеве [9]. Похожий результат получили в исследованиях Башкирского НИИСХ на чернозёме в посевах яровой пшеницы [10] и Чувашского НИИСХ в зернопаропропашном севообороте на серой лесной почве [11], где вспашка увеличивала содержание пылеватых частиц, способствуя разрушению почвы сильнее, чем ресурсосберегающие технологии подготовки почвы.

При этом важно учитывать и экономическую составляющую. Так, на черноземах Воронежской области максимальный уровень рентабельности возделывания ячменя получен по вспашке, где урожайность на 5 % превысила вариант с безотвальной обработкой культиватором Top Down и на 19 % – вариант с двукратным дискованием [12]. Исследования З. М. Азизова с соавт. на черноземе южном Нижнего Поволжья продемонстрировали, что на озимой пшенице по уровню рентабельности, затратам труда, топлива и энергии наряду с ежегодной глубокой вспашкой наилучший результат обеспечивала комбинированная разноглубинная обработка почвы [13].

Таким образом, в разных почвенно-климатических условиях могут быть получены различные результаты. Актуальность исследований ресурсо- и почвосберегающих технологий на тёмно-серой лесной почве Чувашской Республики несомненна.

Цель исследования – изучить воздействие различных агрегатов для основной подготовки тёмно-серой лесной почвы на её агрофизические свойства, продуктивность и экономическую эффективность звена севооборота.

Научная новизна – сравнивается действие ресурсосберегающих приемов основной обработки почвы в звене севооборота с целью определения их эффективности на тёмно-серой лесной почве Чувашской Республики.

Материал и методы. В статье приводятся данные исследований за 2022–2024 гг., проведенных на тёмно-серой лесной тяжелосуглинистой почве в многолетнем стационарном опыте Чувашского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Агрохимическая характеристика почвы участка следующая: гумус (по Тюрину) – 5,6 %; подвижный фосфор – 156,3 мг/кг и обменный калий – 59,0 мг/кг почвы (по Кирсанову); сумма поглощённых оснований (по Каппену) – 16,4 ммоль/100 г почвы; pH_{KCl} – 5,01.

Схема опыта приведена в таблице 1. Варианты основной осенней обработки почвы различались способами (отвальная, безотвальная) и приемами: вспашка ПЛН-3-35 на глубину 20–22 см; культивация комбинированным стерневым культиватором KOS-3.0 на 14–16 см; дискование агрегатом БДМ-4-3,2 на 12–14 см. В схему опыта введен вариант без основной осенней обработки. В качестве контрольного варианта принята традиционная отвальная обработка почвы. Систему обработки почвы завершала весенняя предпосевная культивация комбинированным орудием Паук-6 с глубиной воздействия 6–8 см (единая по всем изучаемым вариантам).

Опыт заложен в трех повторностях. Делянки размещены систематически. Общая площадь каждой элементарной делянки – 420 м^2 (6 м х 70 м), учетная – 100 м^2.

Исследовательскую работу проводили в звене севооборота: яровая пшеница сорт Архат (2022 г.) – горох сорт Гунтер (2023 г.) – озимая рожь сорт Графиня (2024 г.).

Культуры возделывали по рекомендациям для данного региона[1]. Зерновые высевали сеялкой СЗ-5,4 с нормой высева 5 млн всхожих семян на га. Урожай убирали комбайном Sampo 500. Побочную продукцию оставляли в поле.

Общую скважность почвы определяли в слое 0–30 см, отбирая образцы буром Некрасова каждые 10 см. Агрегатный состав определяли сухим разделением на фракции по методу Н. И. Саввинова[2]. Закладку полевого опыта и обработку данных методом дисперсионного анализа проводили по методике Б. А. Доспехова[3].

В исследуемый период наблюдались следующие агрометеорологические условия. В 2022 году выпавшие осадки за апрель и май значительно превышали среднемноголетние значения, при этом май был холодным. Июнь и июль характеризовались оптимальными для роста и развития растений температурными показателями. Несмотря на то, что за июнь выпала лишь половинная норма осадков, почва была насыщена влагой, выпавшей за предыдущий период. В июле осадков зафиксировано 164 % от нормы при среднемесячной температуре воздуха на уровне 20,4 ºС. Очень стрессовым для растений сложился август – самый жаркий и засушливый месяц. За весь период выпало лишь 3 мм осадков, при этом температурный режим отличался повышенными показателями – 21,9 ºС, что на 4,2 ºС выше нормы. Гидротермический коэффициент (ГТК) за май – август составил 1,0.

В 2023 году апрель выдался сухим и жарким, за счёт чего почва очень быстро высохла. Только в конце мая прошли дожди, по сумме

[1]Система земледелия Чувашской Республики на 1996–2000 годы. Чебоксары, 1996. 240 с.
[2]Самофалова И. А., Лобанова Е. С. Почвоведение: лабораторный практикум. Пермь, 2021. 140 с.
[3]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: «Колос», 1973. 336 с.

осадков чуть превышающие среднемноголетние показатели. Июнь и первая декада июля также были засушливыми. За весь август выпало лишь 13 мм осадков. ГТК за сезон составил 0,6, что свидетельствует о существенном недостатке увлажнения.

В зимний период 2023-2024 гг., несмотря на появление устойчивого снежного покрова лишь в третьей декаде ноября, сильных морозов не наблюдали, и высокий снежный покров позволил перезимовать посевам озимых благополучно. С первой же декады апреля снег быстро стаял, и почва прогрелась до положительных температур. Затем во вторую и третью декады апреля выпало 75 мм осадков. Влага в почве, накопленная с осенними осадками, весенними паводковыми водами и апрельскими дождями, дала возможность озимой культуре перенести дальнейшую летнюю засуху без критического ущерба в отличие от яровых. Май был холодным и первая декада дождливая, далее до конца июля условия отличились сильнейшим дефицитом осадков. С середины мая до конца первой декады августа ГТК составил лишь 0,6. Сроки уборки зерновых были сорваны из-за того, что в начале августа пошли ливневые дожди, которые продолжались с перерывами около двух недель. Подсыхание почвы заняло почти неделю, что сдвинуло начало уборки более чем на три недели. Такие условия позволили озимым получить хорошее развитие в начале вегетации, но прирост урожая проходил в очень неблагоприятных условиях. Задержка уборки из-за ливней привела к прорастанию отдельных зёрен в колосе на корню.

Результаты и их обсуждение. Для развития корневой системы растений очень важным показателем является плотность почвы. Для серых лесных почв со средне- и тяжелосуглинистым составом для зерновых культур оптимальной считается плотность 1,0–1,3 г/см^3 [14]. Между тем, ряд исследователей считает, что оптимальной плотностью посевного слоя почвы является 1,3-1,4 г/см^3, а над семенами почва должна быть рыхлой (без уплотнения) – 0,95–1,00 г/см^3 [15].

Переуплотнение приводит к уменьшению воздухопроницаемости и содержания доступной влаги в корнеобитаемом слое. В таблице 1 указана объёмная масса почвы в опыте в начале и конце ротации звена севооборота.

Таблица 1 – **Изменение плотности почвы за ротацию звена севооборота в зависимости от приёмов основной обработки почвы /**
Table 1 – **Change in soil density in the crop rotation link depending on the methods of basic tillage**

Вариант основной обработки почвы / Basic tillage variant		*Слой почвы, см / Soil layer, cm*	*Плотность почвы, г/см^3/ Soil density, g/cm^3*	
			в начале ротации / at the beginning of rotation	*в конце ротации / at the end of the rotation*
Отвальная / Moldboard tillage	вспашка (контроль) / plowing (control)	0–10	0,93	1,01
		10–20	0,97	1,07
		20–30	1,18	1,21
Безотвальная / Nonmoldboard tillage	культивация / cultivation	0–10	0,96	1,03
		10–20	1,02	1,10
		20–30	1,24	1,26
	дискование / disking	0–10	0,97	1,05
		10–20	1,14	1,07
		20–30	1,25	1,28
Без основной обработки / Without basic tillage		0–10	0,99	1,15
		10–20	1,17	1,19
		20–30	1,28	1,30

Верхний слой почвы 0–10 см, за счёт воздействия на него комбинированного агрегата Паук-6 во всех вариантах до посева имел значение меньше 1,0 г/см^3, но по вспашке отмечена наименьшая объёмная масса. Значения плотности почвы после проведения осенью культивации и дискования незначительно отличались от контроля. Наибольшее уплотнение наблюдали в варианте без осенней подготовки почвы, когда, кроме предпосевной культи-

вации на глубину семенного ложа, не проводили никаких дополнительных обработок. Особенно это заметно в слое 10–20 см, где плотность в сравнении с контролем увеличилась на 0,20 г/см^3 в начале ротации и на 0,12 г/см^3 в конце ротации, в слое 20–30 см – на 0,10 и 0,09 г/см^3 соответственно. Плотность почвы – это динамический показатель, который зависит от множества факторов, по нему можно судить о том, что вспашка оказывает самое положительное воздействие на данный показатель. Во всех вариантах основной обработки плотность почвы снижалась в сравнении с вариантом без основной подготовки.

Не менее важен и такой лимитирующий для сельскохозяйственных культур фактор, как содержание в почве продуктивной влаги. В большинстве регионов именно она максимально влияет на итоговую урожайность. В течение ротации общая тенденция изменения влаги на всех культурах была идентичная, динамика её запасов в пахотном слое на примере яровой пшеницы приведена в таблице 2.

Таблица 2 – **Влияние приемов основной обработки почвы на динамику запасов продуктивной влаги в посевах яровой пшеницы, мм (2022 г.) /**
Table 2 – **The influence of basic tillage techniques on the dynamics of productive moisture reserves in spring wheat crops, mm (2022)**

Слой почвы, см / Soil layer, cm	*После посева / After sowing*	*% от контроля / % of the control*	*Колошение – цветение / Earing– flowering*	*% от контроля / % of the control*	*После уборки / After harvesting the grain*	*% от контроля / % of the control*
Вспашка (контроль) / Plowing (control)						
0–10	16,8	100	16,7	100	9,6	100
10–20	18,8	100	21,7	100	12,2	100
20–30	18,1	100	19,6	100	12,5	100
Сумма / Total	53,7	100	58,0	100	34,3	100
Культивация / Cultivation						
0–10	16,6	98,8	18,3	109,6	10,2	106,3
10–20	17,9	95,2	21,6	99,5	13,1	107,4
20–30	18,8	103,9	19,2	98,0	12,9	103,2
Сумма / Total	53,3	99,3	59,1	101,9	36,2	105,5
Дискование / Disking						
0–10	16,6	98,8	16,3	97,6	8,5	88,5
10–20	18,1	96,3	19,5	89,9	12,4	101,6
20–30	17,9	98,9	17,7	90,3	11,0	88,0
Сумма / Total	52,6	98,0	53,5	92,2	31,9	93,0
Без основной обработки / Without basic tillage						
0–10	16,1	95,8	17,1	102,4	9,5	99,0
10–20	17,7	94,1	21,5	99,1	12,7	104,1
20–30	17,8	98,3	20,5	104,6	12,7	101,6
Сумма / Total	51,6	96,1	59,1	101,9	34,9	101,7

Вопрос сохранения продуктивной влаги почвы в последние годы стоит очень остро. Современные высокопродуктивные сорта, техника и технологии потенциально могут обеспечивать получение сельхозпродукции на уровне ведущих мировых производителей. Но фактическое состояние основных факторов роста часто не может обеспечить все потребности

растений, а высокоурожайные сорта требуют и большого количества ресурсов, в т. ч. влаги. Задача земледельца – максимально приблизиться к удовлетворению этих потребностей. Минимизация обработки почвы способна решить задачу излишнего испарения столь ценного ресурса как почвенная влага.

В таблице 2 показана динамика содержания доступной влаги в слое почвы 0–30 см в посевах яровой пшеницы. Так как последующие годы исследований имели схожую ситуацию по данному показателю, в статье приведена динамика только по одной культуре. В период отборов почвы от посева до фазы «цветение – колошение» достаточное количество осадков способствовало насыщению влагой её нижних слоёв. Согласно данным таблицы 2, после посева преимущество по запасам продуктивной влаги в слое 0–20 см имел вариант с наилучшей водопроницаемостью – вспашка, когда интенсивная обработка привела к лучшему крошению почвенных агрегатов и увеличению пористости. В дальнейшем наиболее оптимальной себя показала культивация комбинированным агрегатом KOS-3.0, при которой в период «колошение – цветение» и перед уборкой запасы влаги в слое почвы 0–30 см превышали контроль на 1,9–5,5 %. Чуть меньше превышение над контролем показал вариант без основной обработки – на 1,9 и 1,7 % в те же периоды отбора. Это частично можно объяснить пониженной всхожестью культур и соответственно меньшей продуктивностью звена севооборота в этом варианте, что привело к сокращению затрат влаги на транспирацию. При дисковании отмечена самая низкая влагосберегающая способность почвы – на 0,1–7,8 % ниже контроля. Таким образом, по сохранению запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см культивация является наиболее эффективным приемом основной подготовки темно-серой лесной почвы под посев яровой пшеницы. Культивация комбинированным агрегатом KOS-3.0 также способствовала повышению запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см в посевах гороха на 2,7–8,3 %, озимой ржи – на 3,4–6,9 % относительно контроля.

Одна из причин, влияющих на накопление влаги в почве – это её структурно-агрегатный состав, поэтому земледельцу важно правильно выбрать систему обработки почвы для сокращения разрушающего механического воздействия на почву.

Из данных таблицы 3 видно, что коэффициент структурности во всех вариантах опыта показывает отличное агрегатное состояние – более 1,5. Однако динамика структурно-агрегатного состава позволяет более подробно оценить изменения, происходящие в почве при выборе варианта ее основной обработки.

Здесь нужно указать, что контроль (вспашка) по коэффициенту структурности превышает только вариант с применением комбинированного стерневого культиватора KOS-3.0 как в начале ротации, так и по ее завершении. Следует отметить, что наибольшие изменения структурно-агрегатного состояния почвы за ротацию произошли по вспашке – к концу ротации звена севооборота в этом варианте увеличилось количество крупных агрегатов >10 мм (на 1,8 %) и частиц <0,25 мм (на 2,2 %) за счёт уменьшения доли агрономически ценной фракции 0,25–10 мм. При исключении основной обработки почвы значительных изменений за ротацию не отмечено, однако минимальное содержание микроагрегатов в почве данного варианта свидетельствует о том, что сокращение механического воздействия способствует сохранению крупных структурных агрегатов. Дискование из всех приемов основной подготовки почвы отличалось невысокой способностью к крошению глыбистых частиц >10 мм.

Урожайность культур – один из основных показателей деятельности сельхозпроизводителей. В зависимости от почвенно-климатических условий одни и те же технологии показывают себя по-разному. В условиях темно-серой лесной почвы Чувашской Республики лучший результат получили по вспашке (табл. 4). Однако культивация комбинированным агрегатом KOS-3.0 позволила получить продуктивность в звене севооборота лишь на 3,4 % ниже, чем в контроле, что входит в пределы ошибки опыта. Продуктивность звена севооборота в вариантах с дискованием была значительно ниже контроля.

Вариант без осенней обработки привёл к значительному сокращению урожайности на 1,89 т/га зерн. ед., что на 21,4 % ниже контроля. Но при этом стоит помнить, что данный вариант не требует дополнительных затрат на ГСМ, зарплату тракториста, амортизацию и прочих в отличие от вариантов с основной подготовкой почвы. Это, в свою очередь, влияет на итоговую рентабельность и доход предприятия (табл. 5).

Таблица 3 – **Влияние приемов основной обработки на структурно-агрегатный состав почвы в начале и конце ротации звена севооборота /**
Table 3 – **The influence of basic tillage techniques on the structural and aggregate composition of the soil at the beginning and end of rotation of the crop rotation link**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	*Структурные агрегаты, % / Structural aggregates, %*						*Коэффициент структурности / The coefficient of soil pedality*	
	>10 мм	*% от контроля / % of the control*	*0,25–10 мм*	*% от контроля / % of the control*	*< 0,25 мм*	*% от контроля / % of the control*	*К*	*% от контроля / % of the control*
В начале ротации / At the beginning of rotation								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	17,5	100,0	77,8	100,0	4,7	100,0	3,0	100,0
Культивация / Cultivation	20,8	118,9	75,2	96,7	4,0	85,1	3,3	110,0
Дискование / Disking	20,1	114,9	76,2	97,9	3,7	78,7	2,7	90,0
Без основной обработки / Without basic tillage	22,4	128,0	74,2	95,4	3,4	72,3	2,9	96,7
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,4	-	1,8	-	0,1	-	-	-
В конце ротации / At the end of the rotation								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	19,3	100,0	73,8	100,0	6,9	100,0	2,8	100,0
Культивация / Cultivation	19,8	102,6	76,5	103,7	3,7	53,6	3,3	115,6
Дискование / Disking	21,2	109,8	75,0	101,6	3,8	55,1	3,0	106,5
Без основной обработки / Without basic tillage	22,8	118,1	74,3	100,7	2,9	42,0	2,9	102,6
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,1	-	1,9	-	1,8	-	-	-

Таблица 4 – **Влияние приемов основной обработки почвы на продуктивность звена севооборота «яровая пшеница – горох – озимая рожь» (2022–2024 гг.) /**
Table 4 **– The influence of basic tillage techniques on the productivity of the "spring wheat – peas – winter rye" crop rotation link (2022–2024)**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	*Продуктивность звена севооборота, т/га зерн. ед. / Productivity of the crop rotation link, t grain units from 1 ha*	*Отклонение от контроля, ± / Deviation from control, ±*	
		т/га зерн. ед. / t grain units from 1 ha	*%*
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	8,83	-	-
Культивация / Cultivation	8,53	-0,30	-3,4
Дискование / Disking	7,99	-0,84	-9,5
Без основной обработки / Without basic tillage	6,94	-1,89	-21,4
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,73	-	-

При расчёте рентабельности использовали актуальные цены на зерно в годы проведения опыта, прямые затраты на семенной материал, ГСМ, пестициды, зарплату тракториста. В таблице приведены средние показатели в расчёте на 1 га. Из расчёта хорошо видно, что несмотря на то, что выход зерна в варианте без основной обработки существенно меньше, чем по вспашке за счёт значительного сокращения прямых затрат, условно чистый доход (на 6,1 тыс. руб./га) и рентабельность (на 45,4 %) выше контроля.

Таблица 5 – **Влияние приемов основной обработки почвы на экономические показатели возделывания культур в звене севооборота /**
Table 5 – **The influence of basic tillage techniques on the economic performance of crop cultivation in the crop rotation link**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	*Стоимость продукции / The cost of product*	*Производственные затраты / Production costs*	*Условно чистый доход / Conditional net income*	*Рентабельность, % / Profitability, %*
	тыс. руб. на 1 га / thousand rubles per 1 ha			
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	37,6	33,0	4,6	14,0
Культивация / Cultivation	34,9	27,9	7,0	25,1
Дискование / Disking	33,4	27,6	5,8	20,9
Без основной обработки / Without basic tillage	28,6	17,9	10,7	59,4

Среди вариантов с основной обработкой почвы культивация показала наиболее оптимальный результат, который позволил получить близкую к контролю урожайность, но экономически оказался более эффективным. Сокращение производственных затрат дало ощутимый эффект в увеличении условно чистого дохода и рентабельности на 11,1 %. Сокращение выхода продукции при дисковании привело к снижению рентабельности в сравнении с культивацией на 4,2 %, но уменьшение прямых затрат по сравнению со вспашкой увеличило рентабельность на 6,9 %.

Заключение. Исследования ресурсосберегающих приемов основной обработки тёмно-серой лесной почвы в звене севооборота «яровая пшеница – горох – озимая рожь» по сравнению с традиционной вспашкой выявили следующие данные по их эффективности.

Несмотря на то, что при вспашке на глубину 20–22 см почва в слое 0–30 см приобретает более рыхлое состояние (0,93–1,18 г/см^3 в начале и 1,01–1,21 г/см^3 в конце ротации звена севооборота) и обеспечивается наибольшая продуктивность культур – 8,83 т/га зерн. ед., данный прием негативно сказывается на структурно-агрегатном состоянии почвы – к концу ротации увеличилось количество крупных агрегатов >10 мм (на 1,8 %) и частиц <0,25 мм (на 2,2 %) за счёт уменьшения доли агрономически ценной фракции 0,25–10 мм. Этот показатель свидетельствует о том, что вспашка действует на структуру почвы разрушающим образом. Помимо этого, за счёт наибольших производственных затрат рентабельность возделывания культур звена севооборота при вспашке самая низкая – 14,0 %.

В качестве самой эффективной в опыте отмечена стерневая обработка комбинированным культиватором KOS-3.0 на 14–16 см. Плотность почвы незначительно отличалась от вспашки, при этом запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см, начиная с середины вегетации, превышали контроль на 1,9–5,5 %. Структурно-агрегатный состав почвы отличался от контроля меньшим количеством частиц почвы <0,25 мм и более высокими значениями коэффициента структурности по сравнению с остальными вариантами. Продуктивность звена севооборота при осенней культивации почвы несущественно отличалась от контрольного варианта. При этом за счёт сокращения затрат на обработку почвы получена максимальная (по вариантам осенней обработки) рентабельность возделывания культур в звене севооборота – 25,1 %, что на 11,1 % выше, чем по вспашке.

Самую высокую рентабельность возделывания культур в опыте получили в варианте без применения осеннего воздействия на почву (предпосевная культивация комбинированным агрегатом Паук-6) – 59,4 %. Несмотря на самый низкий выход зерновых единиц по звену севооборота, затраты на возделывание культур здесь также были наименьшими, что привело к получению максимального условно чистого дохода – 10,7 тыс. руб/га. Выявлено положительное влияние данного способа посева на структуру почвы в сравнении с представленными вариантами осенней обработки. Из-за невы-

сокой механической нагрузки (только предпосевная подготовка почвы) глыбистых частиц почвы (более 10 мм) было на 4,9 % больше, чем в контроле, доля частиц менее 0,25 мм, включающих пылеватую фракцию, составила лишь 42,0 % от вспашки в конце ротации звена севооборота, что являлось самым низким значением в опыте. По содержанию продуктивной влаги в корнеобитаемом слое этот вариант также превышал контроль с периода колошения и до уборки яровой пшеницы.

Дискование агрегатом БДМ-4-3,2 на 12–14 см в качестве приема осенней обработки почвы не имело каких-либо преимуществ.

Таким образом, в условиях Чувашской Республики оптимальным приемом основной обработки темно-серой лесной почвы в звене севооборота «яровая пшеница – горох – озимая рожь» является стерневая культивация комбинированным стерневым культиватором типа KOS-3.0 на глубину 14–16 см, при которой снижается отрицательное механическое воздействие на почву, сохраняется продуктивность звена севооборота на уровне традиционной отвальной вспашки, повышается рентабельность производства зерновых культур.

Список литературы

1. Турин Е. Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире (Обзор). Таврический вестник аграрной науки. 2020;(2):150–168. DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168 EDN: WGAZVP

2. Ториков В. Е., Погонышев В. А., Погонышева Д. А. Ресурсосбережение в сфере сельского хозяйства. Аграрный вестник Верхневолжья. 2021;(1):24–32. DOI: https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-34-1-24-32 EDN: DTNXJC

3. Белоусов С. В. Агротехнологические системы земледелия в сохранении плодородия почвы. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023;(187):1–13. DOI: https://doi.org/10.21515/1990-4665-187-003 EDN: TNQRPP

4. Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Семенихина Ю. А., Божко И. В. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов. Таврический вестник аграрной науки. 2020;(3):113–121. DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121 EDN: VPMXAP

5. Комиссаров М. А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии. Почвоведение. 2020;(4):473–482. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20040073 EDN: RTNHNJ

6. Тойгильдин А. Л., Подсевалов М. И., Тойгильдина И. А., Аюпов Д. Э., Мустафина Р. А. Бобовые предшественники, обработка почвы и защита растений в агротехнологиях яровой пшеницы среднего Поволжья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021;(5):77–88. DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-77-88 EDN: ZDYOMZ

7. Тойгильдин А. Л., Подсевалов М. И., Мустафина Р. А. Оценка эффективности обработки почвы и защиты растений на зерновых бобовых культурах в условиях лесостепной зоны Поволжья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(1(53)):68–73. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-68-73 EDN: KGSXKG

8. Горянин О. И., Мадякин Е. В., Пронович Л. В., Джангабаев Б. Ж., Яковлева Н. А. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(9):42–47. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10908 EDN: CBFOFK

9. Дубовик Д. В., Дубовик Е. В., Морозов А. Н., Шумаков А. В. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои. Земледелие. 2022;(2):43–48. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-2-43-46 EDN: SRVOOV

10. Каипов Я. З., Акчурин Р. Л., Султангазин З. Р., Шакирзянов А. Х. Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала. Земледелие. 2020;(1):40–43. DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10111 EDN: NZTIGG

11. Антонов В. Г. Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):733–742. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742 EDN: LCXZWB

12. Несмеянова М. А., Дедов А. В., Коротких Е. В. Влияние приемов основной обработки почвы на ее плодородие, засоренность посевов и урожайность ячменя. Земледелие. 2022;(4):8–11. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-4-8-11 EDN: ZGADNP

13. Азизов З. М., Архипов В. В., Имашев И. Г. Отзывчивость сортов озимой пшеницы на системы приёмов основной обработки почвы в сочетании с применением азотного удобрения в условиях Нижнего Поволжья. Земледелие. 2023;(3):17–21. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-3-17-21 EDN: VFGZQC

14. Зинченко С. И. Влияние приемов основной обработки в зернотравяном севообороте на плотность сложения серой лесной почвы. Земледелие. 2023;(3):21–26. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-3-21-26 EDN: FKTBDY

15. Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины. Агроинженерия. 2021;(2(102)):9–15. DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15 EDN: EQNZJY

References

1. Turin E. N. Advantages and disadvantages of no-till farming around the world (Review). *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2020;(2):150–168. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168

2. Torikov V. E., Pogonyshev V. A., Pogonysheva D. A. Resource saving in the field of agriculture. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya* = Agrarian Journal of Upper Volga Region. 2021;(1):24–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-34-1-24-32

3. Belousov S. V. Agrotechnological systems of agriculture in the preservation of soil fertility. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2023;(187):1–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21515/1990-4665-187-003

4. Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Semenikhina Yu. A., Bozhko I. V. Use of mulching rollers designed for a combined tillage unit. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2020;(3):113–121. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

5. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2020;(4):473–482. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20040073

6. Toygildin A. L., Podsevalov M. I., Toygildina I. A., Ayupov D. E., Mustafina R. A. Legume precursors, tillage and plant protection in agrotechnologies of spring wheat of the middle Volga region. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;(5):77–88. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-77-88

7. Toygildin A. L., Podsevalov M. I., Mustafina R. A. Efficiency evaluation of soil tillage and plant protection of grain legumes in the conditions of the forest-steppe zone of the Volga region. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(1(53)):68–73. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-68-73

8. Goryanin O. I., Madyakin E. V., Pronovich L. V., Dzhangabaev B. Zh., Yakovleva N. A. Technologies for the cultivation of spring barley under arid conditions of the Volga region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(9):42–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10908

9. Dubovik D. V., Dubovik E. V., Morozov A. N., Shumakov A. V. Influence of tillage methods on soil agrophysical properties, soybean yield and quality. *Zemledelie*. 2022;(2):43–48. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-2-43-46

10. Kaipov Ya. Z., Akchurin R. L., Sultangazin Z. R., Shakirzyanov A. Kh. Impact of resource-saving treatments on agro-physical properties of ordinary chernozem and yield of spring wheat in the foothills steppe of the Southern Urals. *Zemledelie*. 2020;(1):40–43. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10111

11. Antonov V. G. The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):733–742. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742

12. Nesmeyanova M. A., Dedov A. V., Korotkikh E. V. Influence of tillage methods on soil fertility, crops infestation and barley yield. *Zemledelie*. 2022;(4):8–11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-4-8-11

13. Azizov Z. M., Arkhipov V. V., Imashev I. G. Responsiveness of winter wheat varieties to the systems of methods of basic tillage in combination with the use of nitrogen fertilizer under the conditions of the Lower Volga region. *Zemledelie*. 2023;(3):17–21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-3-17-21

14. Zinchenko S. I. Influence of basic tillage methods in grain-grass crop rotation on the density of grey forest soil. *Zemledelie*. 2023;(3):21–26. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-3-21-26

15. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A. Experimental studies on the development of an automated system for regulating the soil density used in a seeding machine. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;(2(102)):9–15. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15

Сведения об авторах

✉ **Дементьев Дмитрий Алексеевич,** кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8571-8059, e-mail: tymondem@mail.ru

Иванова Инга Юрьевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательского институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0792-1721

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0834-1681

Information about the authors

✉ **Dmitriy A. Dementyev,** PhD in Agricultural Science, researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e- mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8571-8059, e-mail: tymondem@mail.ru

Inga Yu. Ivanova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e- mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0792-1721

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e- mail: chniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0834-1681

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339–346
УДК 633.28:574.24

Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор

© 2025. О. В. Балун, Е. П. Шкодина✉
ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Сорго-суданковые гибриды (ССГ) – это гибриды сахарного или зернового сорго (Sorghum bicolor* (L.) Moench) *и суданской травы (Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase*), обладающие более высоким потенциалом по сравнению с родительскими формами. Изучение ССГ Навигатор в качестве новой кормовой культуры для условий Новгородской области проводили в течение восьми лет (2016–2023 гг.) на дерново-подзолистых среднеокультуренных почвах. Цель исследований – выявить влияние агрометеорологических условий региона на продолжительность межфазных периодов вегетации и урожайность зеленой массы ССГ Навигатор. Для выявления зависимостей использованы методы корреляционного и регрессионного анализов. Согласно значениям гидротермического коэффициента (ГТК), из восьми лет испытаний три года были засушливыми (ГТК – 0,98…1,10), один – оптимально влажным (ГТК – 1,37), четыре – избыточно влажными (ГТК – 1,73…2,65). В результате исследований установлена тесная взаимосвязь между суммой активных температур и длительностью межфазных периодов вегетации: «посев – всходы» (r = 0,94); «посев – кущение» (r = 0,92); «всходы – кущение» (r = 0,98); «всходы – выход в трубку» (r = 0,96); «кущение – выход в трубку» (r = 0,91). Установлено, что увеличение урожайности тесно связано с количеством выпавших осадков в период «посев – кущение» (r = 0,88) и гидротермическим коэффициентом (ГТК) в период «посев – выход в трубку» (r = 0,70). Выявленные зависимости подтверждают перспективность продвижения ареала выращивания ССГ Навигатор в качестве кормовой культуры на северо-запад Нечерноземной зоны РФ.

Ключевые слова: *сумма активных температур, количество осадков, метеоусловия, ГТК, межфазный период, кормовые злаковые*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема FFZF-2025-0009, рег. № НИОКР 1022041500149-1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Авторы благодарят А. Б. Володина, заведующего лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», за предоставленный семенной материал и плодотворное сотрудничество.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Балун О. В., Шкодина Е. П. Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):339–346. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339-346

Поступила: 04.02.2025 Принята к публикации: 11.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and yield of green mass of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’

© 2025. Olga V. Balun, Elena P. Shkodina✉
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

Sorghum-sudanass hybrids (SSH) are hybrids of sugar or grain sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) and Sudanese grass (Sorghum xdrummondii (Steud.) Millsp. & Chase), which have a higher potential compared to the parent forms. The study of SSH ‘Navigator’ as a new fodder crop for the conditions of the Novgorod region was carried out for eight years (2016–2023) on sod-podzolic medium-cultivated soils. The purpose of the research was to identify the influence of the agro-meteorological conditions of the region on the duration of interphase vegetation periods and the yield of the green mass of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’. Correlation and regression analysis methods were used to identify the dependencies. According to the values of the hydrothermal coefficient (HTC), of the eight years of testing, three years were arid (HTC – 0.98...1.10), one was optimally humid (HTC – 1.37), four were excessively humid (HTC – 1.73...2.65). As a result of the

research, a close relationship has been established between the sum of active temperatures and the duration of interphase vegetation periods: "sowing – young growth" (r = 0.94); "sowing – tillering" (r = 0.92); "young growth – tillering" (r = 0.98); "young growth – shooting" (r = 0.96); "tillering – shooting" (r = 0.91). It has been established that the increase in yield is closely related to the amount of precipitation during the "sowing – tillering" period (r = 0.88) and with the hydrothermal coefficient (GTC) during the "sowing – shooting" period (r = 0.70). The revealed dependencies confirm the prospects of promoting the area of sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' cultivation as a fodder crop to the North-West of the Non-Chernozem zones of the Russian Federation.

Keywords*: sum of active temperatures, the amount of precipitation, meteorological conditions, hydrothermal coefficient, interphase period, fodder cereals*

Acknowledgments: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme FFZF-2025-009, reg. No. NIOKR 1022041500149-1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

The authors thank A. B. Volodin, Head of the Laboratory of Sorghum Breeding and Primary Seed Production at the North Caucasus Federal National Research University, for the seed material provided and for fruitful cooperation.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Balun O. V., Shkodina E. P. The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and yield of green mass of sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator'. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):339–346. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339-346

Received: 04.02.2025 Accepted for publication: 11.03.2025 Published online: 29.04.2025

Изменения климата наиболее существенно сказываются на развитии сельского хозяйства и особенно ярко проявляются в условиях Нечерноземья РФ на низкообеспеченных органическим веществом почвах. На основании многочисленных исследований, посвященных этой тематике, учеными предлагаются различные модели и прогнозы последствий климатических изменений [1, 2, 3]. Для Нечерноземной зоны РФ в XXI веке прогнозируется как положительное, так и отрицательное воздействие изменений климата на сельскохозяйственное производство. Так, предполагается рост биоклиматического потенциала региона, выражающийся в ожидаемом увеличении теплообеспеченности сельхозкультур и запасов органики в гумусовом горизонте [1, 2].

Укрепление кормовой базы животноводства является одной из главных задач обеспечения продовольственной безопасности государства уже на протяжении многих лет. Основным источником кормов являются многолетние травы [4, 5]. Интенсификация и концентрация в животноводстве, изменения климата в сторону потепления и участившиеся в связи с этим неблагоприятные климатические явления (засуха и аномальная жара, ливни и смерчи) в период заготовки кормов приводят к их недостатку. Дефицит кормов производители животноводческой продукции восполняют, как правило, за счет внешних источников, чаще всего концентратов, что ведет к увеличению себестоимости кормов на 55–67 % [6]. На повестке дня по-прежнему остается получение дешевых и качественных кормов.

Отделом мелиорации Новгородского НИИСХ проведен анализ метеорологических данных за 70-летний период (1950–2018 гг.), результаты которого свидетельствуют о потеплении климата Новгородской области: сумма активных температур вегетационного периода увеличилась более чем на 200 ºС, среднегодовая температура – почти на 3 ºС. Также отмечено увеличение частоты возникновения периодов с недостатком осадков в течение вегетации при росте общего количества осадков в теплый период года [7].

Введение в производство новых культур с заданными характеристиками является одним из наиболее дешевых способов повышения продуктивности кормового гектара [8]. Поэтому в 2016 г. учеными Новгородского НИИСХ началось агроэкологическое испытание нетрадиционных для региона кормовых культур, обеспечивающих в засушливых условиях высокий уровень урожайности кормовой массы. Это культуры триб просовые и сорговые: пайза, чумиза, могар, просо посевное и африканское, суданская трава, сорго сахарное, сорго-суданковые гибриды [9]. За годы исследований мы выяснили, что однолетние теплолюбивые интродуценты являются отличным источником дополнительных кормов в позднелетний и осенний периоды, когда особо остро ощущается их недостаток. Именно они во второй половине лета и до заморозков способны обеспечить потребности животноводства свежей зеленой массой.

Сорго-суданковые гибриды (ССГ) создаются селекционерами для получения продукции с улучшенными характеристиками по уровню урожайности и качеству. Исходными родительскими формами являются разновид-

ности сахарного и зернового сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) и суданская трава (*Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase). Высокая вариабельность генетического материала позволяет получать гетерозисные гибриды, устойчивые к неблагоприятным условиям возделывания с повышенной урожайностью зеленой массы и сена по сравнению с родительскими формами [10, 11]. В ареале возделывания (степная зона) сорго-суданковые гибриды, как и суданскую траву, выращивают в основном на зеленый корм и сено, причем ССГ по продуктивности превосходят сорта суданской травы, формируя 50–65 т/га зеленой массы, 9–13 т/га сухого вещества[1]. Исследования показали, что ССГ в условиях Новгородской области стабильно дают высокие урожаи зеленой массы, однако вегетационный период для них остается, как правило, незавершенным [9, 12]. По состоянию на январь 2025 г., в Государственном реестре селекционных достижений[2] зарегистрировано 33 сорго-суданковых гибрида, допущенных к использованию на территории РФ, из них нет ни одного, рекомендованного для Северо-Западного региона (2-й регион допуска).

До недавнего времени в Северо-Западном регионе Нечерноземной зоны РФ не было опыта выращивания ССГ и данных о природных факторах, влияющих на их рост и развитие.

Цель исследования – выявить влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор в природно-климатических условиях Новгородской области.

Новизна исследований – впервые в Северо-Западном регионе Нечерноземной зоны РФ проведен анализ многолетних данных по возделыванию сорго-суданкового гибрида Навигатор – новой для региона кормовой культуры, установлены зависимости продолжительности межфазных периодов вегетации и уровня урожайности от агрометеорологических условий.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Новгородского НИИСХ – филиала Санкт-Петербургского ФИЦ РАН в 2016–2023 гг. Почвы опытного участка легкосуглинистые дерново-подзолистые, среднеокультуренные. Пахотный слой почвы (0–20 см) характеризуется повышенным и высоким содержанием обменных форм калия (101–229 мг/кг), повышенным и очень высоким – подвижных форм фосфора (120–737 мг/кг) (по методу Кирсанова)[3], слабокислой и нейтральной реакцией среды (pH_{KCl} 5,1–6,6)[4], низким содержанием гумуса – 2,81–3,57 % (по методу Тюрина)[5].

Объект исследования – ССГ Навигатор, включен в Госреестр РФ в 2007 г. по Северо-Кавказскому (6) и Дальневосточному (12) регионам. Среднеспелый, обладает слабой кустистостью, куст прямостоячий, облиственность до 35 %. Полегания и поражения болезнями не выявлено. Средняя урожайность в сухом веществе по Северо-Кавказскому региону составляет 11,5 т/га. Оригинатор – ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Авторы: Э. К. Вахопский, А. Б. Володин[6].

Предшественники ССГ Навигатор: в 2016 г., 2021–2023 гг. – овес; 2017, 2018, 2020 гг. – картофель; 2019 г. – занятый пар по пласту многолетних трав.

Посев проводили рядовым способом с междурядьем 15 см вручную во второй половине мая после окончания весенних заморозков и наступления оптимальных температур. Норма высева семян 20 кг/га, площадь делянок 10 м^2, повторность четырехкратная, размещение систематическое. Вносили минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. Измерения, учеты и фенологические наблюдения проводили в соответствии с Методическими указаниями ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса[7]. Урожайность зеленой массы определяли в фазу «выход в трубку».

[1]Капустин С. И., Володин А. Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России: учебно-методическое пособие. Ставрополь, 2022. 103 с.
[2]ФГБУ «Госсорткомиссия». Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. [Электронный ресурс]. URL: https://reestr.gossortrf.ru/ (дата обращения: 22.01.2025).
[3]ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/52221/
[4]ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1985. 7 с. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/29278
[5]ГОСТ 26213-21. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 7 с. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/75803/
[6]URL: https://reestr.gossortrf.ru/
[7]Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК, 1987. 197 с.

Уровень влагообеспеченности определяли по гидротермическому коэффициенту (ГТК), который рассчитывали по методу Селянинова[8]. Влияние метеоусловий на продолжительность фаз роста и развития, уровень урожайности сорго-суданкового гибрида Навигатор устанавливали методами корреляционного и регрессионного анализа[9] с помощью программных продуктов Microsoft Excel.

Вегетационные периоды в годы исследований различались по гидротермическому режиму (табл. 1).

Таблица 1 – **Метеорологические условия периода наблюдений (по данным метеостанции Великий Новгород[10])** / *Table 1* – **Meteorological conditions of the observation period (according to the Veliky Novgorod weather station[10])**

Период / Period	*Год / Year*			*Вегетационный период / The growing season*	
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	*среднегодовая температура воздуха, °C / average annual air temperature, °C*	*ГТК / hydrothermal coefficient*	*сумма осадков, мм / precipitation amount, mm*	*сумма температур воздуха >10 °C / the sum of air temperatures >10 °C*
2016	416	6,4	1,73	381	2051
2017	885	5,8	2,65	448	1713
2018	543	6,1	1,37	236	2102
2019	821	6,8	1,76	328	1910
2020	587	7,7	1,10	229	1909
2021	817	5,8	1,93	404	2159
2022	525	6,2	0,98	163	2041
2023	701	5,7	0,99	215	1989
Среднее / Average	662	6,3	1,56	301	1984

За годы наблюдений сумма активных температур вегетационного периода варьировала от 1713 °C (2017 г.) до 2159 °C (2021 г.), количество осадков изменялось от 163 мм (2022 г.) до 448 мм (2017 г.). Из восьми лет наблюдений три года были засушливыми (2020, 2022 и 2023), один год – оптимально влажным (2018) и четыре года – избыточно влажными (2016, 2017, 2019, 2021). Неблагоприятные погодные условия 2017 года признаны экстремальными, в регионе была объявлена чрезвычайная ситуация.

Результаты и их обсуждение. Ранее нами установлено, что в условиях Нечерноземья сохраняются основные закономерности роста и развития ССГ Навигатор, характерные для ареала возделывания. На начальном этапе идет медленное развитие растений, с фазы «выход в трубку» начинается интенсивный рост и формирование зеленой массы [12].

Всходы сорго-суданкового гибрида Навигатор появлялись, как правило, в течение двух-трех недель, в 2018 г. период до всходов длился больше месяца (табл. 2). Продолжительность периода от всходов до выхода в трубку составила в разные годы от 19 до 57 дней, самая короткая – в 2018 г., когда затянулся период от посева до всходов.

Период от выхода в трубку до начала колошения достаточно длительный, его продолжительность составила за годы исследований от одного до полутора месяцев. Именно в этот период наблюдается интенсификация роста, формируется основная вегетативная масса, в эти сроки растения наиболее питательны и пригодны для заготовки кормов. Урожайность зеленой массы в начале и конце периода может отличаться в разы. В таблице 2 отражена урожайность зеленой массы к концу фазы «выход в трубку». В начале фазы урожайность составила от 7,9 т/га в 2017 г. до 25,4 т/га в 2021 г. В среднем за годы исследований содержание сухого вещества в растениях составило 19,4 %, урожайность зеленой массы в переводе на сухое вещество изменялась от 3,9 до 12,6 т/га.

На длительность межфазных периодов сорго-суданкового гибрида Навигатор и урожайность зеленой массы большое влияние оказывали метеорологические условия вегетационного периода. Многолетние исследования

[8]Агрометеорология: учебник. СПб.: ООО «КВАДРО», 2012. 368 с.
[9]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
[10]Архив_погоды_в_Великом_Новгороде. [Электронный ресурс]. URL: http://rp5.ru/ (дата обращения: 20.12.2024).

ученых Брянской ГСХА с интродуцированными сорговыми культурами показали, что в условиях Центрального района Нечерноземной зоны наблюдается отрицательная связь между продолжительностью вегетации суданской травы и средней температурой воздуха [13]. В наших исследованиях, проведенных в Новгородской области, на длительность межфазных периодов «посев – кущение» и «выметывание – цветение» суданской травы линии Землячка существенное влияние оказывала сумма температур >10 ºС (r = 0,84…0,99), «кущение – выметывание» – количество осадков (r = 0,63…0,93) [14].

Таблица 2 – **Наступление фаз роста и развития сорго-суданкового гибрида Навигатор и урожайность зеленой массы (2016–2023 гг.) /**
Table 2 – **The onset of growth and development phases of sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' and the yield of green mass (2016–2023)**

Год / Year	*Дата посева / Date of sowing*	*Дата наступления фазы / Date of onset of phase*					*Дата осеннего заморозка / Date of autumn frost*	*Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass yield, t/ha*
		всходы / young growth	*кущение / tillering*	*выход в трубку / shooting*	*выметывание / heading of panicles*	*цветение / flowering*		
2016	30.05	15. 06	01.07	11.07	24.08	20.09	12.10	87,2
2017	22.05	07.06	04.07	28.07	21.09	-	21.10	23,8
2018	22.05	05.07	18.07	24.07	28.08	07.09	25.09	75,7
2019	15.05	06.06	24.06	05.07	19.08	11.09	18.09	55,7
2020	25.05	08.06	30.06	27.07	27.08	15.10	21.10	69,9
2021	25.05	09.06	07.07	15.07	12.08	26.08	17.09	50,8
2022	18.05	06.06	05.07	25.07	23.08	29.08	05.09	20,2
2023	23.05	16.06	24.07	08.08	21.08	28.08	10.10	35,4

Математический анализ данных таблиц 1, 2 позволяет выявить зависимости развития ССГ Навигатор от погодных условий вегетационных периодов (табл. 3).

На продолжительность межфазных периодов у ССГ Навигатор наиболее сильное влияние оказала сумма активных температур в начальные периоды: «посев – всходы», «всходы – кущение», «кущение – выход в трубку», коэффициент корреляции составил 0,91–0,98. С возрастанием суммы температур >10 ºС до 17–20 °С увеличивалась на сутки длина этих периодов.

Существенную положительную зависимость длины межфазного периода от количества выпавших осадков наблюдали в периоды «выход в трубку – выметывание» (r = 0,77) и «кущение – выход в трубку» (r = 0,64). Также отмечена тесная связь степени увлажненности, характеризуемой гидротермическим коэффициентом (ГТК), с продолжительностью периода «посев – кущение», которая в годы исследования варьировала от 30 до 62 суток, ГТК периода в среднем составил 1,2 единицы. При увеличении ГТК на 0,1 единицу длина межфазного периода уменьшается на 1,8 суток.

Изучением зависимости показателей продуктивности сорговых культур от метеорологических факторов занимались ученые ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», которыми в условиях Ростовской области установлены корреляционные зависимости урожайности зеленой массы суданской травы от количества осадков (r = 0,79) и средней температуры воздуха за вегетацию (r = -0,59) [15]. В Новгородской области урожайность суданской травы линии Землячка зависела от суммы активных температур (r = 0,80), а также продолжительности межфазного периода «всходы – выход в трубку» (r = 0,93) [14].

Основной задачей исследований в природно-климатических условиях Новгородской области с низкой теплообеспеченностью вегетационного периода было получение зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор. Учет урожая проводили в фазу «выход в трубку». Длительность периода от посева до укоса составила 40–77 суток, от всходов до укоса – 19–57 суток в зависимости от погодных условий.

Наиболее тесная связь урожайности зеленой массы ССГ Навигатор получена с суммой осадков за период «посев – кущение» и описывается параболической зависимостью, которая показывает, что максимальную урожайность наблюдали при выпадении 95 мм осадков, увеличение или уменьшение этого количества приводило к снижению урожайности зеленой массы (табл. 4).

Таблица 3 – **Зависимость продолжительности межфазных периодов сорго-суданкового гибрида Навигатор от метеоусловий, сут (2016–2023 гг.) /**
Table 3 – **Dependence of the interphase periods duration of the sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' on the weather conditions, days (2016–2023)**

Межфазный период / The interphase period	*Метеопараметр / Meteorological parameter*		
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	*сумма температур воздуха >10 °С / the sum of air temperatures >10 °С*	*ГТК / HTC*
Посев – всходы / Sowing – young growth	y = 0,23x + 14,55; R^2 = 0,16	y = 0,06x + 3,37; R^2 = 0,89	y = -4,70x + 28,17; R^2 = 0,11
Всходы – кущение / Young growth – tillering	y = -0,02x + 23,82; R^2 = 0,01	y = 0,06x - 2,94; R^2 = 0,97	y = -11,59x + 36,89; R^2 = 0,45
Кущение – выход в трубку / Tillering – shooting	y = 0,09x + 9,54; R^2 = 0,41	y = 0,05x + 1,93; R^2 = 0,83	y = 1,21x + 11,60; R^2 = 0,06
Выход в трубку – выметывание / Shooting – heading of panicles	y = 0,22x + 7,32; R^2 = 0,60	y = 0,03x + 7,53; R^2 = 0,15	y = 15,67x + 4,83; R^2 = 0,46
Выметывание – цветение / Heading of panicles – flowering	y = 0,002x + 20,45; R^2 = 0,0002	y = 0,02x + 14,22; R^2 = 0,08	y = -1,16x + 22,84; R^2 = 0,06
Посев – кущение / Sowing – tillering	y = -0,33x + 72,60; R^2 = 0,38	y = 0,06x - 1,40; R^2 = 0,85	y = -17,55x + 66,60; R^2 = 0,65
Посев – выход в трубку / Sowing – Shooting	y = -0,03x + 63,69; R^2 = 0,03	y = 0,06x + 5,03; R^2 = 0,75	y = -6,37x + 69,36; R^2 = 0,20
Посев – выметывание / Sowing – Heading of panicles	y = 0,03x + 87,35; R^2 = 0,01	y = 0,06x - 4,36; R^2 = 0,06	y = 3,58x + 89,00; R^2 = 0,01
Посев – цветение / Sowing – flowering	y = -0,04x + 113,14; R^2 = 0,04	y = 0,08x - 49,33; R^2 = 0,17	y = -8,89x + 116,29; R^2 = 0,06
Всходы – выход в трубку / Young growth – shooting	y = 0,04x + 33,51; R^2 = 0,05	y = 0,05x + 5,91; R^2 = 0,93	y = -3,73x + 43,69; R^2 = 0,10
Всходы – выметывание / Young growth – heading of panicles	y = 0,07x + 57,33; R^2 = 0,07	y = 0,1x - 50,84; R^2 = 0,30	y = 6,62x + 61,98; R^2 = 0,02
Всходы – цветение / Young growth – flowering	y = -0,02x + 84,95; R^2 = 0,01	y = 0,04x + 17,92; R^2 = 0,29	y = -7,76x + 92,03; R^2 = 0,07

Таблица 4 – **Зависимость урожайности сорго-суданкового гибрида Навигатор от метеопараметров и продолжительности межфазных периодов, т/га (2016–2023 гг.) /**
Table 4 – **Dependence of the yield of the sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' on meteorological parameters and the duration of the interphase periods, t/ha (2016–2023)**

Межфазный период / The interphase period	*Метеопараметр / Meteorological parameter*			*Продолжительность периода, сут / Duration of the period, days*
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	*сумма температур воздуха >10 °С / the sum of air temperatures >10 °С*	*ГТК / HTC*	
Посев – всходы / Sowing – young growth	$y = -0{,}04x^2 + 2{,}82x + 6{,}87$ R^2 = 0,28	y = 0,05x + 34,32 R^2 = 0,10	$y = -27{,}78x^2 + 79{,}49x + 8{,}65$ R^2 = 0,46	y = 0,47x + 39,92 R^2 = 0,04
Всходы – кущение / Young growth – illering	$y = -0{,}02x^2 + 1{,}46x + 25{,}13$ R^2 = 0,08	y = -0,11x + 101,91 R^2 = 0,48	$y = -76{,}68x^2 + 231{,}51x - 97{,}13$ R^2 = 0,41	y = -1,88x + 93,52 R^2 = 0,44
Кущение – выход в трубку / Tillering – shooting	$y = -0{,}003x^2 + 0{,}48x + 41{,}86$ R^2 = 0,21	y = -0,04x + 60,92 R^2 = 0,04	$y = -1{,}07x^2 + 6{,}95x + 42{,}02$ R^2 = 0,02	y = -0,14x + 52,45 R^2 = 0,002
Посев – кущение / Sowing – tillering	$y = -0{,}04x^2 + 6{,}89x - 244{,}76$ R^2 = 0,77	y = -0,05x + 88,3 R^2 = 0,12	$y = -69{,}35x^2 + 197{,}28x - 67{,}28$ R^2 = 0,59	y = -0,73x + 83,49 R^2 = 0,12
Посев – выход в трубку / Sowing – shooting	$y = -0{,}003x^2 + 1{,}28x - 46{,}89$ R^2 = 0,41	y = -0,07x + 115,79 R^2 = 0,23	$y = -34{,}03x^2 + 133{,}24x - 51$ R^2 = 0,49	y = -0,81x + 98,79 R^2 = 0,14
Всходы – выход в трубку / Young growth – shooting	$y = -0{,}002x^2 + 0{,}58x + 22{,}52$ R^2 = 0,19	y = -0,07x + 99,34 R^2 = 0,38	$y = -26{,}03x^2 + 110{,}62x - 40{,}99$ R^2 = 0,38	y = -1,44x + 104,3 R^2 = 0,35

Вышеотмеченная тенденция сохранялась и для периода «посев – выход в трубку»: при выпадении за указанный период 200 мм осадков урожайность зеленой массы достигала 89 т/га, отклонение суммы осадков от этого значения в сторону увеличения или уменьшения приводило к снижению урожайности зеленой массы. При математической обработке данных получена тесная зависимость урожайности с ГТК в период «посев – кущение» (r = 0,77) и «посев – выход в трубку» (r = 0,70).

Увеличение на одни сутки продолжительности межфазных периодов «всходы – кущение» и «всходы – выход в трубку» снижало урожайность зеленой массы ССГ Навигатор на 1,9 и 1,4 т/га соответственно.

Заключение. Проведенные исследования по оценке влияния метеорологических факторов на рост, развитие и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор в условиях Новгородской области (2016–2023 гг.) позволили сделать следующие выводы:

- на продолжительность межфазных периодов ССГ Навигатор наиболее существенное влияние оказала сумма активных температур в периоды: «посев – всходы», «всходы – кущение», «кущение – выход в трубку» (r = 0,91–0,98);
- формирование урожайности зеленой массы ССГ Навигатор имело тесную параболическую зависимость от суммы осадков (r = 0,88) и гидротермического коэффициента (r = 0,77) в период «посев – кущение», а также от ГТК в период «посев – выход в трубку» (r = 0,70);
- сорго-суданковый гибрид Навигатор на Северо-Западе Нечерноземья РФ является перспективной кормовой культурой с урожайностью зеленой массы 52,3 т/га и содержанием сухого вещества 19,4 % в среднем за годы исследований.

Список литературы

1. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. Под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. 400 с.

2. Положихина М. А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата. Экономические и социальные проблемы России. 2021;(1):45–65. DOI: https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03 EDN: VLKKZN

3. Zandalinas S. I., Fritschi F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, fad Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. Trends in Plant Science. 2021;26(6):588–599. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011

4. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(4):5–14. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5 EDN: XOTNXE

5. Коновалова Н. Ю., Коновалова С. С. Влияние способа посева и интенсивности использования на ботанический состав, продуктивность и питательность бобово-злаковых агрофитоценозов. АгроЗооТехника. 2021;4(3):1. DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.1 EDN: XSKBKP

6. Буяров В. С., Комоликова И. В., Буяров А. В. Развитие животноводства и птицеводства России в условиях импортозамещения. Орёл: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024. 205 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=65204775 EDN: HKDKBG

7. Балун О. В., Яковлева В. А. Влияние способа осушения на водно-воздушный режим мелиорируемых почв. Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. с международ. участием. Великий Новгород: Новгородский ГУ имени Ярослава Мудрого, 2020. С. 272–277. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42923285 EDN: BJVBUT

8. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России. Кормопроизводство. 2021;(6):22–26. DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2021.89.77.001 EDN: QRYDNS

9. Shkodina E. P., Balun O. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2022;12(2):337–344. DOI: https://doi.org/10.31407/ijees12.204

10. Ковтунова Н. А. Эффект гетерозиса у гибридов сорго на основе цитоплазматической мужской стерильности. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(7):39–44. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_39 EDN: PKWSEL

11. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Кухарук М. Ю. Сорго-суданковые гибриды для засушливых условий Центрального Предкавказья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(4(90)):38–43. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43 EDN: WISJLY

12. Шкодина Е. П. Сорго-суданковый гибрид: новая кормовая культура для Нечерноземной зоны. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024;1(65):62–67. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-62-67 EDN: YPGZZU

13. Дьяченко В. В. Суданская трава в полевом кормопроизводстве Нечерноземья. Брянск: Брянский ГАУ, 2009. 224 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/tvlbph EDN: TVLBPH

14. Балун О. В., Шкодина Е. П. Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы суданской травы линия Землячка. Аграрная наука. 2024;(5):85–90. DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-85-90 EDN: AODMWK

15. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):334–342. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342 EDN: IZMXUW

References

1. Recommendations on the development of the agro-industrial complex and rural areas of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030. Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov. Moscow: *OOO «Izdatel'stvo MBA»*, 2021. 400 p.

2. Polozhikhina M. A. Food security in Russia in the context of climate change. *Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii*. 2021;(1):45–65. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03

3. Zandalinas S. I., Fritschi F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, fad Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. Trends in Plant Science. 2021;26(6):588–599. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011

4. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I. Fodder production: state, problems and role of the Federal Williams Research Centre of Fodder production and Agroecology in their solving. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(4):5–14. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5

5. Konovalova N. Yu., Konovalova S. S. The influence of the seeding method and intensity of use on botanical composition, productivity and nutritional value of legume-grass agrophytocenoses. *AgroZooTekhnika* = Agricultural and Lifestock Technology. 2021;4(3):1. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.1

6. Buyarov V. S., Komolikova I. V., Buyarov A. V. Development of Russian livestock and poultry farming in the context of import substitution. Orel: *FGBOU VO Orlovskiy GAU*, 2024. 205 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=65204775

7. Balun O. V., Yakovleva V. A. The influence of the drainage method on the water-air regime of reclaimed soils. Modern trends in scientific and personnel support of the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. Velikiy Novgorod: *Novgorodskiy GU imeni Yaroslava Mudrogo*, 2020. pp. 272–277. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42923285

8. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. New varieties of forage crops and technologies for Russian agriculture. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2021;(6):22–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2021.89.77.001

9. Shkodina E. P., Balun O. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2022;12(2):337–344. DOI: https://doi.org/10.31407/ijees12.204

10. Kovtunova N. A. The effect of heterosis in sorghum hybrids based on cytoplasmic male sterility. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(7):39–44. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_39

11. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Kukharuk M. Yu. Sorghum-sudanese hybrids for arid conditions of the Central Ciscaucasia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(4(90)):38–43. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43

12. Shkodina E. P. Sorghum-sudangrass hybrid: a new feed crop for the Non-chernozem zone. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;1(65):62–67. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-62-67

13. Dyachenko V. V. Sudanese grass in field forage production in the Non-Chernozem region. Bryansk: Bryanskiy GAU, 2009. 224 p. URL: https://elibrary.ru/tvlbph

14. Balun O. V., Shkodina E. P. The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and the yield of the green mass of the Sudanese grass Zemlyachka line. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2024;(5):85-90. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-85-90

15. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Ermolina G. A. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):334–342. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342

Сведения об авторах

Балун Ольга Васильевна, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199178, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8476-0792**

✉ **Шкодина Елена Петровна**, старший научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199178, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4057-9910**, e-mail: kriemperoal@mail.ru

Information about the author

Olga V. Balun, **PhD in Engineering**, associate professor, senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 14th line V.O., 39, St. Petersburg, Russian Federation, 199178, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8476-0792**

✉ **Elena P. Shkodina**, senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 14th line V.O., 39, St. Petersburg, Russian Federation, 199178, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4057-9910**, e-mail: kriemperoal@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.347–356
УДК 633.282+631.527+631.559+57.018

Кустистость как элемент продуктивности суданской травы

© 2025. Н. А. Ковтунова[1]✉, В. В. Ковтунов[1,2], Е. А. Шишова[1], А. Е. Романюкин[1]

[1]*ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация,*
[2]*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Физиологические основы кустистости суданской травы и приемы ее регулирования изучены недостаточно, так как на этот признак оказывают влияние как генотип, так и окружающая среда. Цель работы – выявить зависимость кустистости сортов суданской травы от внешних условий выращивания (метеорологические факторы, способы посева), установить влияние признака на урожайность, качество зеленой массы культуры. Исследования проводили в условиях Ростовской области в 2018–2024 гг. по общепринятым методикам. Объекты исследований – 4 сорта суданской травы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» и 8 образцов-источников высокой кустистости. Метеорологические условия в период «всходы – выметывание» были контрастными: от очень сильной засухи в 2024 г. (ГТК – 0,29) до недостаточной увлажненности в 2020, 2021 и 2023 гг. (ГТК – 0,90…1,02). При широкорядном способе посева (междурядье 70 см) кустистость в среднем по сортам выше – 2,2 стебля/растение, чем при рядовом (15 см) – 1,7 стебля/растение. Установлено, что кустистость суданской травы коррелировала с суммой активных температур как при широкорядном (r = 0,26±0,19), так и рядовом (r = 0,39±0,18) способах посева. Кустистость растений при широкорядном посеве также зависела от количества осадков (r = 0,40±0,18) и влияла на урожайность зеленой массы (r = 0,28±0,16), с семенной продуктивностью связь не выявлена. Установлена средняя положительная связь кустистости и содержания протеина в зеленой массе как при широкорядном (r = 0,52±0,16), так и при рядовом (r = 0,65±0,15) способах посева. У выделенных источников сильной кустистости 5,0…8,5 стебля/растение (К-447, К-384, Приобская 97, Мечта Поволжья, Пензенская ранняя, К-335, Голубовская, Воронежская) содержание сырого протеина в зеленой массе составило 12,9–14,3 %, у стандартного сорта Александрина – 2,4 стебля/ растение и 10,4 % соответственно.

Ключевые слова: *Sorghum x drummondii (*Steud.) Millsp. & Chase*, протеин, урожайность, зеленая масса, корреляция, способ посева*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0505-2025-0010).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Шишова Е. А., Романюкин А. Е. Кустистость как элемент продуктивности суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):347–356.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.347-356

Поступила: 12.02.2025 Принята к публикации: 17.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Tilling capacity as an element of Sudan grass productivity

© 2025. Natalia A. Kovtunova[1]✉, Vladimir V. Kovtunov[1,2], Elena A. Shishova[1], Aleksander E. Romanyukin[1]

[1]*Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russian Federation,*
[2]*Don State Technical University, Rostov-on-Don, R ussian Federation*

The physiological bases for Sudan grass tilling capacity and methods for its regulation have not been sufficiently studied, since this trait is affected by both a genotype and the environment. The purpose of the research was to identify the dependence of tilling capacity of Sudan grass cultivars on external growing conditions (weather factors, sowing methods), to determine the effect of the trait on productivity, green mass quality of the crop. The study was carried out in the Rostov region in 2018–2024 using generally accepted methods. The objects of the study were 4 Sudan grass cultivars developed by the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy" and 8 samples as the sources of high tilling capacity. Weather conditions during the "seedlings - heading" period varied from very severe drought in 2024 (HTC – 0.29) to insufficient moisture in 2020, 2021 and 2023 (HTC – 0.90 ... 1.02). With wide-row sowing (70 cm between rows), the tilling capacity was higher on average among the cultivars with 2.2 stems per plant, than that with row sowing (15 cm) with 1.7 stems per plant. There has been found that Sudan grass tilling capacity correlates with the sum of active temperatures for both wide-row (r = 0.26±0.19) and row sowing (r = 0.39±0.18). The tilling capacity of plants with wide-row sowing also depends on precipitation (r = 0.40±0.18) and affects green mass productivity (r = 0.28±0.16). There has been no correlation with seed productivity. There has been established a mean positive correlation between tilling capacity and protein percentage in green mass both with wide-row (r = 0.52±0.16) and row (r = 0.65±0.15) sowing methods. There was 12.9–14.3 % of crude protein in green mass of the identified sources of high tilling capacity with 5.0...8.5 stems per plant, such as 'K-447', 'K-384', 'Priobskaya 97',

'Mechta Povolzhiya', 'Penzenskaya rannyaya', 'K-335', 'Golubovskaya', 'Voronezhskaya', when the standard cultivar 'Alexandrina' was characterized with 2.4 stems per plant and 10.4 % of crude protein.

Keywords: *Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase*, protein, yield, green mass, correlation, the method of sowing*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Agricultural Research Center "Donskoy" (theme No. 0505-2022-0003).

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of the work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Shishova E. A., Romanyukin A. E. Tilling capacity as an element of Sudan grass productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):347–356. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.347-356

Received: 12.02.2025 Accepted for publication: 17.03.2025 Published online: 29.04.2025

Кустистость считается одним из наиболее пластичных признаков, влияющих на накопление биомассы различных культур за счет развития площади листовой поверхности, которая определяет рост растений, динамику поглощения световых ресурсов, потребности в воде и питательных веществах в течение жизненного цикла растения [1, 2]. Кущение является общим признаком многих ключевых зерновых культур: пшеницы, ячменя, риса, проса, сорго, кукурузы.

Кустистость регулируется рядом экологических и генетических факторов. Х. К. Ким с соавт. (H. K. Kim et al.) [1] показали, что появление подгонов у сорго было в значительной степени синхронизировано с появлением листьев главного побега. Установлено, что у гибридов со слабой кустистостью листья шире, чем у высококустистых форм. Кроме того, быстрая скорость появления листьев приводит к снижению кустистости. Отмечена отрицательная корреляция между площадью листовой поверхности и кустистостью у проса, пшеницы, риса и сорго [2, 3]. Высококустистые сорта сорго в годы с обильным количеством осадков имели значительное превосходство по урожайности биомассы, в то время как при недостатке влаги они значительно уступали низкокустистым формам. Сильное кущение способствует росту и урожайности культуры в благоприятных условиях, поскольку максимально увеличивается поглощение ресурсов. Однако в неблагоприятных условиях, ограничивающих доступность влаги и питательных веществ, рост растений, происходит обратное – низкая кустистость, уменьшенная площадь листовой поверхности и связанное с этим перераспределение доступной воды могут повысить урожайность [2, 4].

Такое взаимодействие между генотипом и окружающей средой усложняет роль кустистости в адаптации и селекции зерновых, а выбор лучшего сорта осложняется взаимодействием генотип-среда. Так, у сортов пшеницы и риса полукарликовый тип растения с высокой кустистостью является наиболее урожайным, но только в годы с хорошим увлажнением. И наоборот, одностебельные формы в засушливых условиях могут быть более урожайными, так как меньший размер вегетативной массы снижает потребление воды до начала цветения [5]. Сорта риса с хорошей кустистостью более продуктивны, чем слабокустящиеся формы, особенно в изреженных посевах и неблагоприятных условиях. В оптимальных условиях у кустистых форм нет преимущества по урожайности [6, 7]. У ярового ячменя растения с хорошей кустистостью в изреженных посевах могут значительно повысить продуктивность стеблестоя. В условиях достаточного увлажнения корреляционная зависимость кустистости с продуктивностью составляет 0,77, засушливых – 0,18 [8].

Казалось бы, интенсивное кущение растений увеличивает потенциал урожайности как зеленой массы, так и семян за счет роста количества метелок. Однако не все побеги продолжают расти после появления почек, некоторые прекращают рост до того, как станут плодоносными, и в конечном итоге отмирают [3]. В исследованиях Р. Л. Баумхардт с соавт. (R. L. Baumhardt et al.) [9] количество побегов слабо коррелировало с урожайностью зерна сорго (r = -0,07).

Выявлены гормональные факторы, стимулирующие ветвление, и гены, регулирующие транспорт ауксина, которые влияют на рост боковых побегов [1]. Т. Х. Кебром с соавт. (T. H. Kebrom et al.) [10] доказали, что ген кукурузы *tb1*, участвующий в регуляции количества побегов, есть и у сорго. Ф. Луо с соавт. (F. Luo et al.) [11] идентифицировал *sobic. 009G164600*, кодирующий белок, как ген-кандидат для регуляции кустистости. Дж. Чен

с соавт. (J. Chen et al.) [12] охарактеризовал мутант гена неспящей пазушной почки *NAB1*, который кодирует каротиноид, участвующий в биосинтезе веществ, работающих в пазушных почках и снижающих количество почек.

В целом, физиологические основы кустистости суданской травы и приемы ее регулирования изучены недостаточно, так как это сложный признак, на который оказывают влияние как генотип, так и окружающая среда.

Цель исследований – выявить взаимосвязь кустистости суданской травы и внешних условий выращивания (метеорологические факторы, способы посева), установить влияние кустистости на урожайность, показатели качества зеленой массы и другие хозяйственно ценные признаки.

Научная новизна – изучение показателя кустистости суданской травы на примере новых сортов в различные по увлажнению годы и при разных способах посева.

Материалы и методы. Исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (г. Зерноград Зерноградского района Ростовской области). Предшественник – озимая пшеница. Почва – обыкновенный карбонатный чернозем, содержание гумуса в пахотном слое 3,6 % (по методу Тюрина), обеспеченность подвижными формами фосфора 18,5–20,0 мг/кг и калия 342–360 мг/кг почвы (по методу Мачигина).

Объекты исследований – 4 сорта суданской травы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Александрина, Алиса, Кудесница и ФП) и 8 образцов-источников высокой кустистости (К-447, К-384, Приобская 97, Мечта Поволжья, Пензенская ранняя, К-335, Голубовская, Воронежская).

Сорта Александрина с 2007 г. (патент № 42299 [13]) и Алиса с 2019 г. (патент № 10367 [14]) внесены в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию[1].

Сорт Кудесница находится на сортоиспытании с 2023 года, сорт ФП планируется к передаче на ГСИ.

Образцы-источники высокой кустистости выделены при изучении коллекции суданской травы из 200 образцов, представленных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» и другими учреждениями России.

Опыты выполняли в соответствии с общепринятыми методиками[2, 3]. Посев проводили в I-II декадах мая широкорядным способом (междурядье 70 см) селекционной сеялкой «Клён-4,2» с нормой высева 340 тыс. всхожих семян на 1 га и рядовым способом (междурядье 15 см) с нормой высева 1,6 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки 25 м^2, повторность четырёхкратная.

Зеленую массу на делянке убирали в фазе «начало выметывания» у 10–15 % растений методом сплошного учета, из которой отбирали пробы на биохимический анализ.

Распределение образцов по кустистости проводили согласно унифицированному классификатору СЭВ видов рода Sorghum Moench[4]:

- до 1-го стебля на растении – кустистость отсутствует;
- 1,1–3,0 – слабая;
- 3,1–5,0 – средняя;
- 5,1–7,5 – сильная;
- более 7,5 – очень сильная.

Для анализа использовали самый большой лист, так как он наиболее тесно коррелирует с общей площадью листа у растений. У сорго и кукурузы – это 3-й лист ниже флагового. Площадь листа находили по методу Соломко с соавт.[5]:

$$S = L*(2h1 + 2h2 + 3h3)/8,$$

где L – длина листа; h1 – ширина листа у его края; h2 – ширина середины листа; h3 – ширина листа у основания.

[1]Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с. URL: https://gossortrf.ru/publication/reestry.php

[2]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.

[3]Методические указания по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур. Л.: ВИР, 1968. 51 с.

[4]Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода Sorghum Moench. Л.: ВИР, 1982. 34 с.

[5]Соломко О. Б., Клочкова О. С., Цветков Г. В. Методика определения площади листьев. Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. [Электронный ресурс]. URL: https://agrosbornik.ru/innovacii1/106-2011-10-09-15-29-31.html (дата обращения: 23.12.2023).

Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93[6]). Статистический анализ (наблюдения, сводка и группировка данных, абсолютные и относительные величины) полученных данных проведен по Б. А. Доспехову[7] с использованием компьютерных программ Ms. Excel и Statistica 10.

Метеорологические условия в годы проведения исследований за период «всходы – выметывание» (2018–2024 гг.) были контрастными (табл. 1).

Гидротермический коэффициент (ГТК)[8] за период «всходы – выметывание» суданской травы свидетельствует об очень сильной засухе в 2024 г., сильной засухе – в 2018 и 2022 гг., средней засушливости – в 2019 г., недостаточной увлажненности – в 2020, 2021 и 2023 гг.

Результаты и обсуждение. Кустистость сортов суданской травы значительно варьировала по годам (табл. 2).

Таблица 1 – **Метеорологические условия в период «всходы – выметывание» суданской травы (май – сентябрь 2018–2024 гг.) (по данным метеостанции г. Зернограда) /**
Table 1 – **Meteorological conditions during the "seedlings – heading" period of Sudan grass (May – September 2018–2024) (according to the weather station of the city of Zernograd)**

Год / Year	*Средняя температура воздуха, °С / Average air temperature, °С*	*Сумма активных температур воздуха, °С / Sum of active air temperatures, °С*	*Сумма осадков, мм / The sum of precipitations, mm*	*ГТК / HTC*
2018	23,7	1372	60,2	0,44
2019	22,8	936	62,9	0,67
2020	22,6	1244	125,0	1,00
2021	22,6	1175	119,0	1,02
2022	21,7	1326	53,2	0,40
2023	21,4	1198	108,0	0,90
2024	25,9	1296	38,1	0,29

Таблица 2 – **Кустистость сортов суданской травы при разных способах посева, стеблей на растение (2018–2024 гг.) /**
Table 2 – **Tilling capacity of Sudan grass cultivars by different sowing methods, stems per plant (2018–2024)**

Год / Year	*Александрина, ст. / 'Aleksandrina', st.*		*Алиса / 'Alisa'*		*Кудесница / 'Kudesnitsa'*		*ФП / FP*		*Среднее / Average*	
	15 см	*70 см*	*15 см*	*70 см*	*15 см*	*70 см*	*15 см*	*70 см*	*15 см*	*70 см*
2018	2,5	3,5	3,0	3,0	2,5	1,5	2,5	1,5	2,6±0,2	2,4±0,9
2019	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,1±0,2	1,3±0,3
2020	2,0	3,0	2,5	2,5	2,0	3,5	1,5	3,5	2,0±0,4	3,1±0,4
2021	1,0	1,5	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,3±0,4	2,1±0,5
2022	2,0	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3±0,4	1,3±0,5
2023	1,0	3,0	2,0	2,0	1,0	3,0	2,5	3,0	1,6±0,6	2,8±0,4
2024	1,0	2,0	4,0	4,0	2,5	2,5	1,5	1,0	2,3±1,1	2,4±1,1
Среднее / Average	1,6±0,6	2,4±0,8	2,2±1,1	2,2±1,1	1,6±0,7	2,1±1,0	1,6±0,7	2,1±1,1	1,7±0,5	2,2±0,6

[6]ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ. 2011. 55 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294837/4294837763.pdf
[7]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 35 с.
[8]Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Под ред. А. А. Исаева. М.: Изд-во гегр. ф-та МГУ, 2005. Т. 2. 412 с.

Установлено, что при широкорядном способе посева кустистость выше и в среднем по сортам составляет 2,2 стебля на растение (при рядовом – 1,7 стебля на растение), что объясняется большей площадью питания – на одно растение при широкорядном посеве приходится в среднем 294 см^2 почвы, при рядовом – всего 62 см^2. Это согласуется с исследованиями Т. А. Лафаржа и Г. Л. Хаммера (T. A. Lafarge, G. L. Hammer) [3], согласно которым увеличение плотности растений в рядах снижает кустистость растений из-за конкуренции между растениями за питательные вещества или освещенность. В исследованиях Р. Л. Баумхардта с соавт. (R. L. Baumhardt et al.) [9] увеличение плотности растений в рядах также уменьшает количество боковых побегов (r = -0,58). У сорго в условиях высокой плотности растений вырастает меньше пазушных почек, из которых могут развиться потенциальные побеги, что можно объяснить чувствительностью сорго к соседним растениям из-за различий в качестве освещения.

В результате изучения корреляционных связей установлено, что кустистость суданской травы при рядовом способе посева не зависела от средней температуры воздуха, количества осадков и ГТК. При широкорядном способе посева выявлена средняя положительная связь с суммой осадков за период «всходы – выметывание» (r = 0,40±0,18 при уровне значимости 0,05). Установлена корреляционная связь кустистости с суммой активных температур за период «всходы – выметывание»: при широкорядном посеве – слабая (r = 0,26±0,19), при рядовом – средняя (r = 0,39±0,18) (рис. 1).

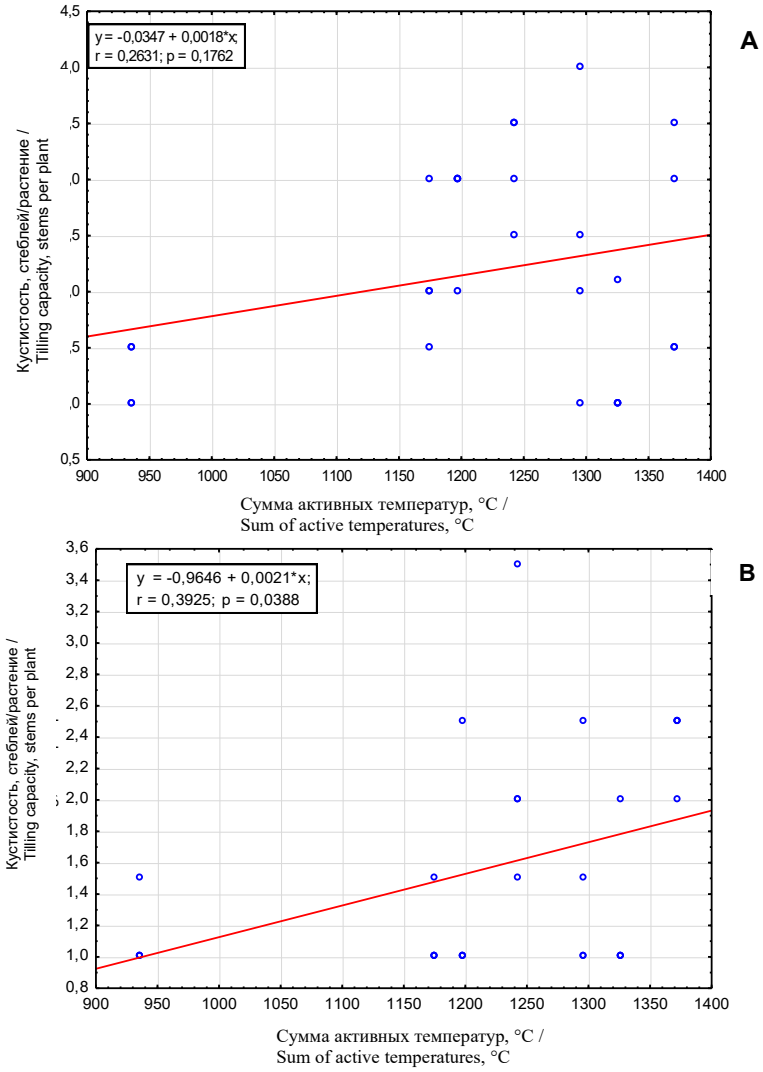


Рис. 1. **Связь кустистости сортов суданской травы и суммы активных температур за период «всходы – выметывание» (2018–2024 гг.): А – широкорядный посев; В – рядовой посев /**

Fig. 1. **Correlation between tilling capacity of the Sudan grass cultivars and the Sum of active air temperatures during the "seedlings – heading" period (2018–2024): A – wide-row sowing; B – row sowing**

Согласно ряду работ, кустистость может оказывать значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур [7, 15]. Однако в наших исследованиях при рядовом посеве суданской травы взаимосвязи кустистости и урожайности зеленой массы не выявлено, при широкорядном способе отмечена слабая зависимость (r = 0,28±0,13) (рис. 2).

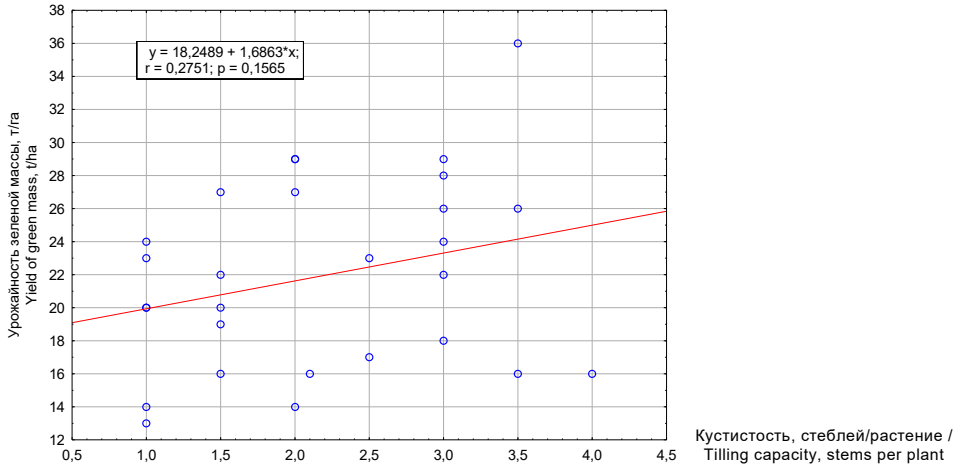


Рис. 2. **Зависимость урожайности зеленой массы суданской травы от кустистости при широкорядном посеве (2018–2024 гг.) /**

Fig. 2. **Correlation between the yield of Sudan green mass and tilling capacity by wide-row sowing (2018–2024)**

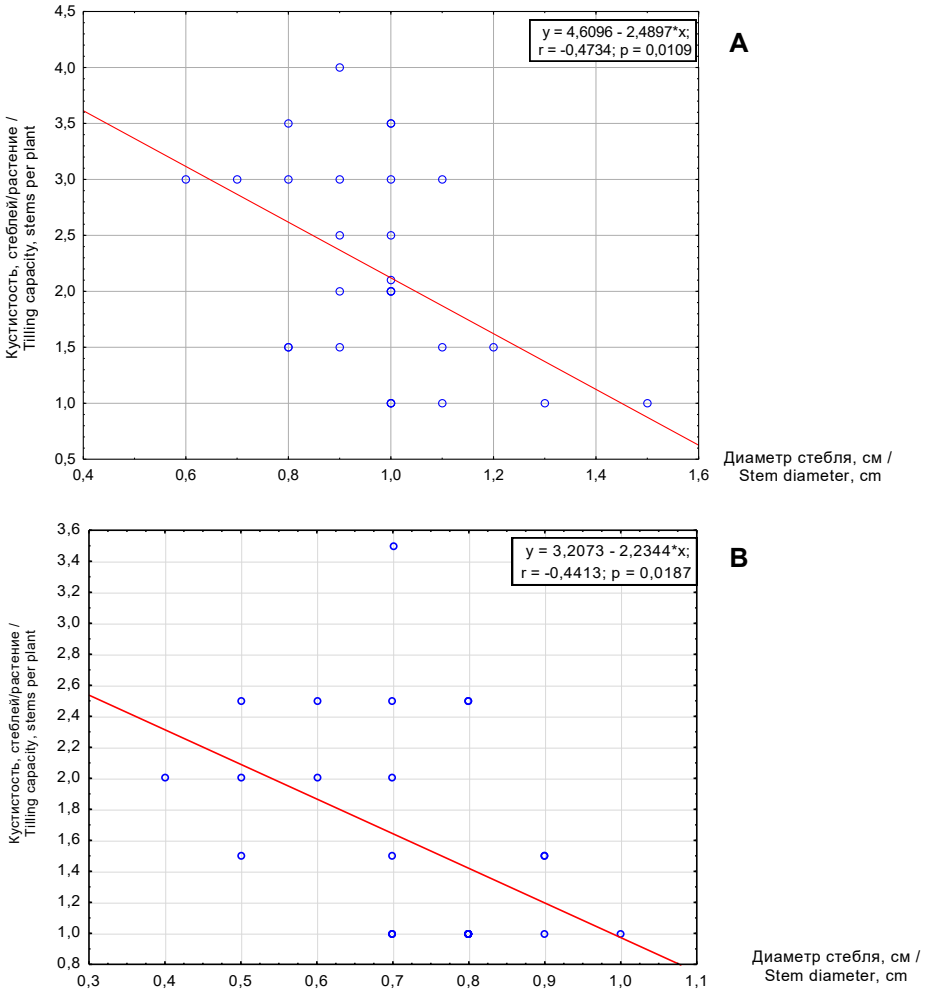


Рис. 3. **Взаимосвязь кустистости и диаметра главного стебля суданской травы (2018–2024 гг.): А – широкорядный посев; В – рядовой посев /**

Fig. 2. **Correlation between tilling capacity and a main stem diameter of Sudan grass (2018–2024): A – wide-row sowing; B – row sowing**

Кустистые формы суданской травы обычно скороспелые, тонкостебельные с тонкими длинными листьями и, несмотря на большое количество подгонов на растении, удельный вес стеблей в урожае незначителен [16, 17]. Установлена средняя отрицательная связь между кустистостью и диаметром стебля (рис. 3). При увеличении диаметра главного побега на 1 см кустистость снижается на 2,5 стебля на растение при широкорядном посеве и на 2,2 стебля – при рядовом.

Согласно корреляционному анализу, кустистость имеет слабую отрицательную связь с продолжительностью вегетационного периода (r = -0,20…0,26). С размерами и количеством листьев на растении связи не выявлено. На семенную продуктивность кустистость не оказала влияния. Обычно на подгонах семена либо значительно мельче, чем на основном стебле, либо не вызревают к моменту уборки семенников, или вообще не формируются.

Считается, что кустистые формы суданской травы позволяют получать тонкостебельное сено, которое отличается высокой питательностью [18]. В наших исследованиях как при широкорядном (r = 0,52±0,16), так и при рядовом (r = 0,65±0,15) способах посева выявлена средняя положительная связь кустистости и содержания протеина в зеленой массе. Увеличение кустистости на 1 стебель сопровождается повышением содержания протеина на 2,0 и 1,5 % соответственно (рис. 4).

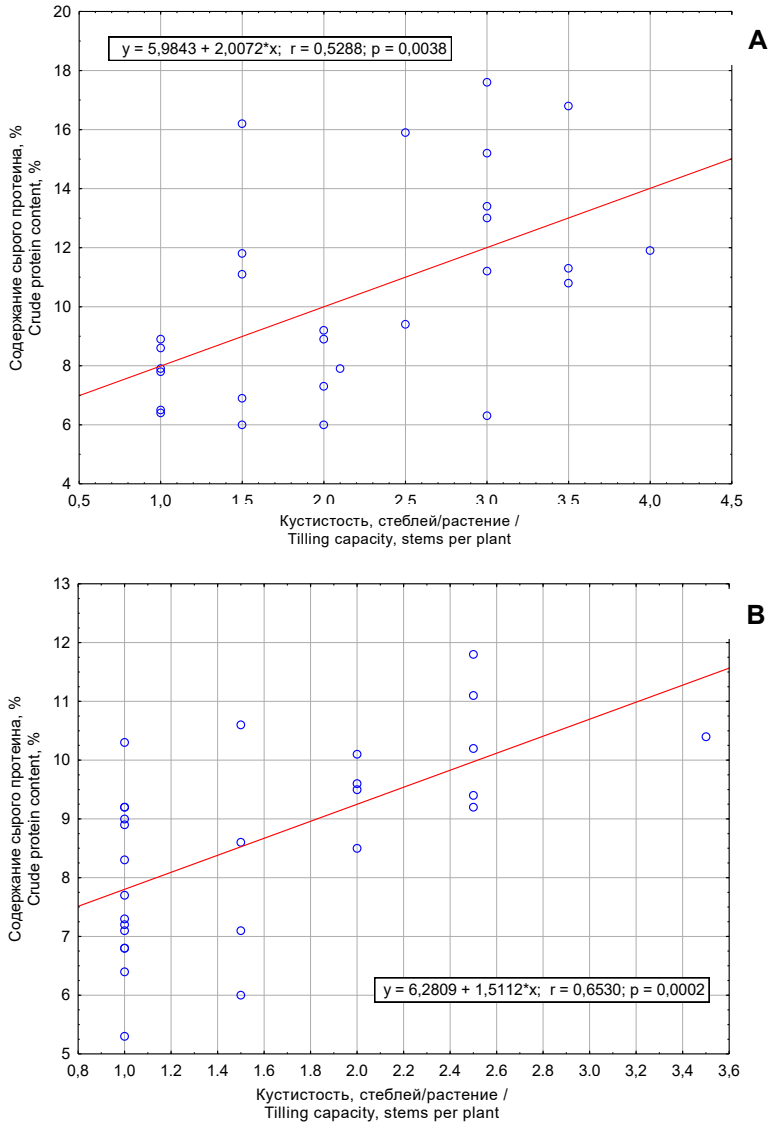


Рис. 4. **Взаимосвязь кустистости и содержания сырого протеина в зеленой массе суданской травы (2018–2024 гг.): А – широкорядный посев; В – рядовой посев /**

Fig. 4. **Correlation between tilling capacity and crude protein content in the green mass of Sudan grass (2018–2024): A – wide-row sowing; B – row sowing**

Таблица 3 – **Характеристика образцов-источников высокой кустистости суданской травы (широкорядный посев, 2018–2024 гг.)** /
Table 3 – **Characteristics of source samples of high tilling capacity of Sudan grass (wide-row sowing, 2018–2024)**

Образец, сорт / Sample, cultivar	*Кустистость, ст./раст. / Tilling capacity, stems per plant*	*Диаметр стебля, см / Stem diameter, cm*	*Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs.*	*Продолжительность периода «всходы-выметывание», дни / Length of the "seedlings - heading" period, days*	*Площадь 3-го листа, см²/ The 3rd leaf area, cm²*	*Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass yield, t/ha*	*Содержание сырого протеина, % / Crude protein content, %*
Александрина, ст. / 'Aleksandrina', st.	2,4	1,0	10	52	180	34	10,4
Пензенская ранняя / 'Penzenskaya rannyaya'	5,0	0,4	6	40	71	22	13,5
К-384	5,0	0,6	6	31	45	15	13,6
К-335	5,0	0,7	6	40	70	20	13,9
Мечта Поволжья / 'Mechta Povolzhiya'	5,5	0,6	5	33	42	16	14,2
Голубовская / 'Golubovskaya'	5,5	0,7	6	41	80	21	12,9
Воронежская / 'Voronezhskaya'	6,5	0,5	6	43	88	22	14,0
К-447	8,5	0,5	6	45	84	25	13,2
Приобская 97 / 'Priobskaya 97'	8,5	0,5	5	40	68	19	14,3
Среднее / Average	5,8±0,8	0,6±0,2	6,2±1,0	40,6±5,0	80,9±40,0	21,6±6,0	13,3±0,8

В ходе исследований из коллекционного питомника выделены образцы-источники высокой кустистости: К-447, К-384, Приобская 97, Мечта Поволжья, Пензенская ранняя, К-335, Голубовская, Воронежская, которые используются в гибридизации для получения новых сортов суданской травы (табл. 3).

Выделенные образцы коллекции отличаются тонкостебельностью, малыми размерами листовой поверхности, скороспелостью и кустистостью 5,0–8,5 стебля на растение. В сравнении со стандартом характеризуются низкой урожайностью зеленой массы 15–25 т/га, содержание сырого протеина в зеленой массе у этих образцов составляет 12,9–14,3 %, значительно выше стандарта Александрина, что подтверждает зависимость данного показателя от кустистости.

Выводы. 1. В ходе исследований установлено, что кустистость сортов суданской травы в условиях Ростовской области зависела от температурного режима в период формирования зеленой массы («всходы – выметывание»): с суммой активных температур выявлена слабая корреляция при широкорядном посеве (r = 0,26±0,19) и средняя при рядовом (r = 0,39±0,18). При широкорядном способе посева кустистость выше, чем при рядовом.

2. Урожайность зеленой массы зависела от кустистости только при широкорядном посеве (r = 0,28±0,19), влияния на семенную продуктивность не установлено.

3. Установлена средняя отрицательная связь кустистости и диаметра стебля (r = -0,44…-0,47). При увеличении диаметра главного побега на 1 см кустистость снижается на 2,5 стебля на растение при широкорядном посеве и на 2,2 стебля – при рядовом.

4. Выявлена средняя положительная связь кустистости и содержания протеина в зеленой массе как при широкорядном (r = 0,52±0,16), так и при рядовом (r = 0,65±0,15) способах посева.

5. У выделенных источников сильной кустистости – 5,0…8,5 стебля на растение (К-447, К-384, Приобская 97, Мечта Поволжья, Пензенская ранняя, К-335, Голубовская, Воронежская) содержание сырого протеина в зеленой массе составило 12,9–14,3 %, что значительно выше стандарта Александрина, что свидетельствует о возможности их использования в качестве источников высокого содержания протеина при селекции суданской травы.

Список литературы

1. Kim H. K., Oosterom E., Dingkuhn M., Luquet D., Hammer G. Regulation of tillering in sorghum: environmental effects. Annals of Botany. 2010;106(1):57–67. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcq079

2. Hammer G., McLean G., Kholova J., Oosterom E. Modelling the dynamics and phenotypic consequences of tiller outgrowth and cessation in sorghum. Plants. 2023;5(2):diad019. DOI: https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diad019

3. Lafarge T. A., Hammer G. L. Tillering in grain sorghum over a wide range of population densities: modelling dynamics of tiller fertility. Annals of Botany. 2002;90(1):99–110. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcf153

4. Larue F., Fumey D., Rouan L., Soulié J. C., Roques S., Beurier G., Luquet D. Modelling tiller growth and mortality as a sink-driven process using Ecomeristem: implications for biomass sorghum ideotyping. Annals of Botany. 2019;124(4):675–690. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcz038

5. Doust A. Architectural evolution and its implications for domestication in grasses. Annals of Botany. 2007;100(5):941–950. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcm040

6. Редькин А. А. Эффективность отбора на высокую кустистость при различной густоте стояния растений риса. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2010;(64):188–197. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15579313 EDN: NCXZFL

7. Костылев П. И., Редькин А. А., Краснова Е. В. Расщепление гибридов риса по кустистости при различных уровнях азотного питания. Зерновое хозяйство России. 2016;(3):50–54.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642956 EDN: WLASOT

8. Солонечный П. Уровень проявления и корреляция количественных признаков сортов ячменя ярового. Ştiinţa Agricolă. 2018;(1):23–27. EDN: VNNAXL9. Baumhardt R. L., Tolk J. A., Winter S. R. Seeding Practices and Cultivar Maturity Effects on Simulated Dryland Grain Sorghum Yield. Agronomy Journal. 2005;97(3):935–942. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2004.0087

10. Kebrom T. H., Burson B. L., Finlayson S. A. Phytochrome B represses Teosinte Branched1 expression and induces sorghum axillary bud outgrowth in response to light signals. Plant Physiol. 2006;140(3):1109–1117.
DOI: https://doi.org/10.1104/pp.105.074856

11. Luo F., Pei Z. Y., Zhao X. W., Liu H. F., Jiang Y. W., Sun S. J. Genome-wide association study for plant architecture and bioenergy traits in diverse sorghum and sudangrass germplasm. Agronomy. 2020;10(10):1602.
DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy10101602

12. Chen J., Zhang L. M., Zhu M. J., Han L. J., Lv Y., Liu Y. S., et al. Non-dormant Axillary Bud 1 regulates axillary bud outgrowth in sorghum. Journal of Integrative Plant Biology. 2021;60(10):938–955. DOI: https://doi.org/10.1111/jipb.12665

13. Горпиниченко С. И., Гурский Н. Г., Ермолина Г. М., Саламатина А. Н. Суданская трава Александрина: пат. № 3572 Российская Федерация. № 42299: заявл. 10.12.2004. Режим доступа: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/aleksandrina-sudanskaya-trava/

14. Горпиниченко С. И., Ермолина Г. М., Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Лушпина О. А., Романюкин А. Е., Сарычева Н. И., Сухенко Н. Н., Шишова Е. А. Суданская трава Алиса: пат. № 10367 Российская Федерация. № 70935: заявл. 24.11.2016. Режим доступа: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/alisa-sudanskaya-trava/

15. Вертий Н. С., Титаренко А. В., Титаренко Л. П., Козлов А. А. Кустистость как один из элементов продуктивности ячменно-пшеничных гибридов. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2015;(1(25)):5–10. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832591 EDN: UXKSAN

16. Ковтунова Н. А., Шишова Е. А. Продуктивный и питательный потенциал суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):646–655. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655 EDN: DJSOEJ

17. Алабушев А. В., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Изменчивость и взаимосвязь количественных признаков суданской травы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019;(4):10–14.
DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/10-14 EDN: WNYKRS

18. Шишова Е. А. Качество зеленой массы коллекции суданской травы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2017;(2(46)):145–151.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30513909 EDN: ZRTDEV

References

1. Kim H. K., Oosterom E., Dingkuhn M., Luquet D., Hammer G. Regulation of tillering in sorghum: environmental effects. Annals of Botany. 2010;106(1):57–67. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcq079

2. Hammer G., McLean G., Kholova J., Oosterom E. Modelling the dynamics and phenotypic consequences of tiller outgrowth and cessation in sorghum. Plants. 2023;5(2):diad019. DOI: https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diad019

3. Lafarge T. A., Hammer G. L. Tillering in grain sorghum over a wide range of population densities: modelling dynamics of tiller fertility. Annals of Botany. 2002;90(1):99–110. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcf153

4. Larue F., Fumey D., Rouan L., Soulié J. C., Roques S., Beurier G., Luquet D. Modelling tiller growth and mortality as a sink-driven process using Ecomeristem: implications for biomass sorghum ideotyping. Annals of Botany. 2019;124(4):675–690. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcz038

5. Doust A. Architectural evolution and its implications for domestication in grasses. Annals of Botany. 2007;100(5):941–950. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcm040

6. Redkin A. A. Efficiency of selection on high tillering at various density of planting of rice plants. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2010;(64):188–197. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15579313

7. Kostylev P. I., Redkin A. A., Krasnova E. V. Splitting of the rice hybrids according to the tillering on the various levels of nitrogen fertilizing. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia**.** 2016;(3):50–54. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642956

8. Solonechnyy P. The level of manifestation and correlation of quantitative characteristics of spring barley cultivars. Ştiinţa Agricolă. 2018;(1):23–27. (In Moldova

9. Baumhardt R. L., Tolk J. A., Winter S. R. Seeding Practices and Cultivar Maturity Effects on Simulated Dryland Grain Sorghum Yield. Agronomy Journal. 2005;97(3):935–942. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2004.0087

10. Kebrom T. H., Burson B. L., Finlayson S. A. Phytochrome B represses Teosinte Branched1 expression and induces sorghum axillary bud outgrowth in response to light signals. Plant Physiol. 2006;140(3):1109–1117. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.105.074856

11. Luo F., Pei Z. Y., Zhao X. W., Liu H. F., Jiang Y. W., Sun S. J. Genome-wide association study for plant architecture and bioenergy traits in diverse sorghum and sudangrass germplasm. Agronomy. 2020;10(10):1602. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy10101602

12. Chen J., Zhang L. M., Zhu M. J., Han L. J., Lv Y., Liu Y. S., et al. Non-dormant Axillary Bud 1 regulates axillary bud outgrowth in sorghum. Journal of Integrative Plant Biology. 2021;60(10):938–955. DOI: https://doi.org/10.1111/jipb.12665

13. Gorpinichenko S. I., Gurskiy N. G., Ermolina G. M., Salamatina A. N. Sudan grass 'Alexandrina': patent RF no. 3572. 2004. URL: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/aleksandrina-sudanskaya-trava/

14. Gorpinichenko S. I., Ermolina G. M., Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Lushpina O. A., Romanyukin A. E., Sarycheva N. I., Sukhenko N. N., Shishova E. A. Sudanese grass Alice: patent RF no. 10367. 2016. URL: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/alisa-sudanskaya-trava/

15. Vertiy N. S., Titarenko A. V., Titarenko L. P., Kozlov A. A. Tilling capacity as an element of barley-wheat hybrids. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2015;(1(25)):5–10. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832591

16. Kovtunova N. A., Shishova E. A. Productive and nutritional potential of Sudan grass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):646–655. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655

17. Alabushev A. V., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Shishova E. A. Variability and correlation of quantitative characters of the sudan grass. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(4):10–14. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/10-14

18. Shishova E. A. Quality of the green mass of the sudan herbs. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2017;(2(46)):145–151. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30513909

Сведения об авторах

✉ **Ковтунова Наталья Александровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0409-5855**, e-mail: n-beseda@mail.ru

Ковтунов Владимир Викторович, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7510-7705**

Шишова Елена Александровна, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7406-6622**

Романюкин Александр Егорович, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4349-8489**

Information about the authors

✉ **Natalia A. Kovtunova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0409-5855**, e-mail: n-beseda@mail.ru

Vladimir V. Kovtunov, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru; Don State Technical University, Gagarin pl., zd. 1, Rostov-on-Don, Rostov region, Russian Federation, 344003, e-mail: reception@donstu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7510-7705**

Elena A. Shishova, PhD in Agricultural Science, junior researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7406-6622**

Aleksandr E. Romanyukin, PhD in Agricultural Science, researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4349-8489**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.357–368
УДК 636.4:636.082

Полногеномный поиск вариаций числа копий, ассоциированных с параметрами крови у свиней крупной белой породы

© 2025. М. А. Колосова[1]✉, Л. В. Гетманцева[2], С. Ю. Бакоев[1], А. Ю. Колосов[2]
[1]*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», пос. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация,*
[2]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Российская Федерация*

Вариации числа копий (CNV) – это повторяющиеся участки генома, размером от одной тысячи до нескольких миллионов пар оснований, варьирующиеся между особями в популяции. Благодаря бóльшему покрытию генома по сравнению с SNP (однонуклеотидный полиморфизм), CNV являются важным источником генетической изменчивости и рассматриваются в настоящее время как альтернативный тип ДНК-маркеров. На сегодняшний день в животноводстве существуют исследования, свидетельствующие о влиянии CNV на фенотипическую изменчивость. Однако мало исследований, направленных на изучение ассоциаций CNV с параметрами крови, которые позволяют выявлять тонкие механизмы, лежащие в основе физиологической регуляции фенотипов, связанных со здоровьем и селекционно важными характеристиками. Целью работы – определить CNV, ассоциированные с уровнем аланинаминотрансферазы (ALT), мочевины (Urea), количеством эритроцитов (RBC) и лейкоцитов (WBC), у свиней крупной белой породы и выявить гены-кандидаты, которые могут быть рассмотрены как генетические маркеры в кроветворных функциях, физиологических процессах и фенотипах продуктивности. Исследования проводили на свиньях крупной белой породы. Генотипирование осуществляли на основе биочипа GGP Porcine HD Genomic Profiler v1, содержащего 80 тысяч SNP. Функциональную аннотацию проводили согласно сборке Sscrofa11.1 с использованием Ensembl Genome Browser. В результате исследований установлены CNV (делеции/дупликации), ассоциированные с уровнем ALT, Urea, RBC и WBC у свиней крупной белой породы. Были идентифицированы гены, перекрывающие области CNV, связанные с изучаемыми показателями крови у свиней: ALT (BBS9, TTC14, KCND3, TRPC1, PSMD1, MMP16, KCNJ3, ADAM2); Urea (ESR1, USP8, CAST, CNBD1); RBC (PSMD1, TTC14, FUT8, CSMD3); WBC (BBS9, KCND3, BMPR2). Согласно функциональной аннотации, эти гены могут быть рассмотрены как перспективные генетические маркеры в кроветворных функциях, физиологических процессах и фенотипах продуктивности у свиней.

Ключевые слова: *свиньи, вариации числа копий, гены, генетические маркеры, ALT, Urea, RBC, WBC*

Благодарность: исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-76-10015 (https://rscf.ru/project/22-76-10015/).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Колосова М. А., Гетманцева Л. В., Бакоев С. Ю., Колосов А. Ю. Полногеномный поиск вариаций числа копий, ассоциированных с параметрами крови у свиней крупной белой породы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):357–368. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.357-368

Поступила: 29.11.2024 Принята к публикации: 12.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Genome-wide search for copy number variations associated with blood parameters in Large White pigs

© 2025. Mariya A. Kolosova[1]✉, Lyubov V. Getmantseva[2], Sirodzhdin Yu. Bakoev[1], Anatoly Yu. Kolosov[2]
[1]*Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov region, Russian Federation*
[2]*All Russian Research Institute of Animal Breeding, Moscow Region, Russian Federation*

Copy number variations (CNVs) are repetitive regions of the genome, ranging from one thousand to several million base pairs in size, that vary between individuals in a population. Due to their greater genome coverage compared to SNPs (single nucleotide polymorphisms), CNVs are an important source of genetic variability and are currently considered an alternative type of DNA marker. To date, there are studies in animal husbandry indicating the effect of CNVs on phenotypic variability. However, few studies have focused on the associations of CNVs with blood parameters, which could help identify subtle mechanisms underlying the physiological regulation of phenotypes associated with health and selection-important traits. The aim of this work was to identify CNVs associated with alanine aminotransferase (ALT), urea (Urea), red blood cell (RBC) and white blood cell (WBC) counts in Large White pigs and to identify candidate genes that may be considered as

genetic markers in hematopoietic functions, physiological processes and productivity phenotypes. The study was conducted on Large White pigs. Genotyping was performed using the GGP Porcine HD Genomic Profiler v1 biochip containing 80,000 SNPs. Functional annotation was performed according to the Sscrofa11.1 assembly using the Ensembl Genome Browser. As a result of the study, CNVs (deletions/duplications) associated with ALT, Urea, RBC, and WBC levels were identified in Large White pigs. Genes overlapping CNV regions associated with the studied blood parameters in pigs were identified: ALT (BBS9, TTC14, KCND3, TRPC1, PSMD1, MMP16, KCNJ3, ADAM2); Urea (ESR1, USP8, CAST, CNBD1); RBC (PSMD1, TTC14, FUT8, CSMD3); WBC (BBS9, KCND3, BMPR2). According to the functional annotation, these genes can be considered promising genetic markers for hematopoietic functions, physiological processes, and productivity phenotypes in pigs.

Keywords: *pig, copy number variations, genes, genetic markers, ALT, Urea, RBC, WBC*

Acknowledgements*:* the research was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 22-76-10015, https://rscf.ru/project/22-76-10015/).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kolosova M. A., Getmantseva L. V., Bakoev S. Yu., Kolosov A. Yu. Genome-wide search for copy number variations associated with blood parameters in Large White pigs. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):357–368. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.357-368

Received: 29.11.2024 Accepted for publication: 12.03.2025 Published online: 29.04.2025

В свиноводстве большое количество исследований сосредоточено на селекционно-значимых признаках, таких как скороспелость, среднесуточный прирост, толщина шпика, воспроизводительная продуктивность и других [1]. Кроме того, объектом изучения становятся основные физиологические, биохимические и молекулярные параметры или другие промежуточные фенотипы (также известные как внутренние фенотипы), которые могут быть связаны с экономическими признаками [2].

Гематологические и клинико-биохимические параметры крови отражают физиологический статус животных и используются в качестве биомаркеров для описания патологических или субпатологических состояний. Их считают индикаторами иммунных функций и компонентами адаптивной иммунной системы как у людей, так и у домашнего скота. Они напрямую связаны с биохимическими путями, гомеостазом и транспортом биомолекул (например, уровнем холестерина и других метаболитов) или функциями и активностью ферментов (например, индикаторами стресса печеночных и мышечных ферментов). Следовательно, идентификация генетических маркеров, связанных с параметрами крови у животных, предоставляет ценную информацию для развития и совершенствования селекционных программ [2, 3]. Анализ генетической изменчивости в различных компонентах крови может быть использован для диагностики, прогнозирования заболеваний, а также для изучения их патогенеза, механизмов устойчивости к болезням и процессов, связанных с формированием хозяйственно ценных признаков. Свиньи часто используются как модели для изучения заболеваний человека благодаря их физиологическому и анатомическому сходству с людьми. Полученные результаты также могут способствовать определению новых измеримых фенотипов, которые можно было бы применять в программах разведения в качестве альтернативы более сложным признакам [4].

В исследованиях генетической архитектуры селекционно-значимых признаков сельскохозяйственных животных основной акцент сделан на анализе SNP. В последнее время большой интерес стали вызывать структурные варианты, одними из которых являются CNV. Обычно CNV определяется как область ДНК размером приблизительно 1 тыс. п. н., состоящая из инверсий, сбалансированных транслокаций или геномного дисбаланса (дупликаций и делеций). По сравнению с SNP, CNV покрывают более широкие хромосомные области и потенциально могут влиять как на экспрессию генов, так и на регуляцию с потенциально большими фенотипическими эффектами [5]. У людей несколько исследований CNV показали связь с менделевскими заболеваниями и сложными генетическими нарушениями, такими как сердечно-сосудистые заболевания, шизофрения, рак [6], различные врожденные пороки [7]. Аналогичным образом, в животноводстве все больше исследований доказывают, что CNV оказывают влияние на фенотипическую изменчивость, например CNV в интроне 1 фактора транскрипции SOX-5 (*SOX5)* вызывают фенотип «горохового гребешка» у кур [8], интронная дупликация в гене синтаксина 17 (*STX17)* связана с поседением волос и меланомой у лошадей [9], дупликация в генах семейства факторов роста фибробластов (*FGF3, FGF4, FGF19)* и повышенная экспрессия гена рака полости рта с 1 (*ORAOV1)* приводит к

появлению гребневого волоса и предрасположенности к дермоидным кистам у собак породы риджбек [10], а CNV и миссенс-мутации гена сигнального белка агути (*ASIP*) приводят к различной окраске шерсти у коз [4]. Однако в настоящее время эта тема недостаточно изучена на свиньях. Протоонкогенный рецептор тирозинкиназы (*KIT*) – первый ген свиньи, для которого было подтверждено, что дупликация гена и мутация сплайсинга, ведущая к пропуску экзона 17, ответственны за доминантный белый фенотип и уровень клеток периферической крови [11]. Также CNV у свиней были связаны с несколькими фенотипами, такими как цвет шерсти, толщина шпика и качество мяса, дефекты конечностей, показывая, что CNV можно рассматривать как многообещающие маркеры экономически важных признаков [1, 12]. Несмотря на широкий диапазон количества и размера CNV, о которых сообщалось в предыдущих исследованиях на свиньях, результаты показали, что значительная часть CNV, вероятно, разделяется между разными породами, а их функциональные эффекты недооценены в племенном свиноводстве. В современной литературе мало исследований, направленных на изучение ассоциации CNV с параметрами крови у свиней, но они могут быть полезны для анализа сложных продуктивных признаков, так как позволяют определять более тонкие механизмы, лежащие в основе физиологического регулирования фенотипов здоровья и селекционно-значимых признаков [13].

Цель исследований – определить CNV, ассоциированные с признаками крови ALT, Urea, RBC и WBC у свиней крупной белой породы, и выявить гены-кандидаты, которые могут быть рассмотрены как генетические маркеры в кроветворных функциях и физиологических процессах.

Научная новизна – в представленной работе на свиньях крупной белой породы с использованием полногеномного поиска ассоциаций (GWAS) впервые идентифицированы регионы CNV (CNVR), перекрывающиеся с генами и локусами, связанными с признаками крови ALT, Urea, RBC, WBC, а также выявлен ряд наиболее значимых генов в этих областях.

Материал и методы. Для исследования были выбраны свиньи крупной белой породы (n = 143), которые имели одинаковые условия содержания и кормления. Кровь брали из яремной вены утром перед раздачей корма. На момент отбора образцов возраст свиней варьировал в пределах 2,5-3,0 месяцев. Образцы крови для гематологического профиля брали в пробирку, обработанную K3-EDTA, и анализировали в течение 2 часов после сбора с использованием гематологического анализатора. Образцы крови для биохимического профиля брали в пробирки без антикоагулянта, что позволяло отделить сыворотку. Генотипирование проводили на основе биочипов GeneSeek® GGP Porcine HD Genomic Profiler v1 (Illumina Inc, the USA), содержащих 80 тыс. SNP.

Для идентификации CNV по данным массива SNP применяли программу PennCNV v.1.0.4 [1], которая использует информацию маркера SNP в формате текстового файла. Файл отчета о микроматрице Illumina был переформатирован с помощью файла Split_illumina_report.pl. Ложные срабатывания были удалены с помощью filter_cnv.pl, что позволило выбрать CNV со стандартным отклонением LRR менее 0,3. Все CNV длиной более 5 МБ были удалены, поскольку CNV такой длины, скорее всего, будут ложноположительными.

Для поиска CNV, ассоциированных с уровнем ALT, Urea, RBC и WBC, использовали пакет CNVRanger, который считывает вызовы CNV из простого формата файла, предоставляющего следующие данные: номер хромосомы; начальная позиция; конечная позиция; идентификатор образца; целое число копий для каждого вызова. После импорта в R данные CNV сохранили для последующей работы в структурах Bioconductor посредством пакетов GenomicRanges и RaggedExperiment.

Для определения повторяющихся регионов применили метод CNVRuler, отсекающий области с низкой плотностью (<10 % от общего количества вызовов внутри региона). Для дальнейшего анализа CNV были объединены в регионы (ro.thresh = 0,51).

Полногеномное исследование ассоциаций на уровне зонда (GWAS) с количественными фенотипами провели с использованием пакета CNVRanger. Результаты отображены, как и для обычного GWAS, с помощью графиков Манхэттен. Функциональная аннотация установленных генетических вариантов проведена согласно сборке Sscrofa11.1 с использованием Ensembl Genome Browser.

Результаты и их обсуждение. *Поиск значимых CNV, ассоциированных с ALT.* ALT представляет один из трансаминаз печени, который имеет высокую степень наследуемости, а изменения в пределах нормального референт-

ного диапазона могут быть связаны с генетическим происхождением. У свиней уровень ALT имеет вариабельность не только между породами, но и внутри породы. Предполагают, это связано с особенностями селекционного отбора, а также с условиями содержания и кормления [14]. По результатам исследования CNV-GWAS, для ферментов печени, в частности ALT, было определено 13 достоверно значимых CNV, уровень значимости которых был меньше или равен 0,05 (рис. 1). Идентифицированные CNV использовали для аннотирования генов, потенциально ассоциированных с признаком ALT. В ходе исследований установлено, что они пересекались с генами *BBS9*, *TTC14*, *ENSSSCG00000013954*, *KCND3*, *TRPC1*, *PSMD1*, *MMP16*, *KCNJ3*, *ADAM2* и четырьмя межгенными вариантами (табл. 1).

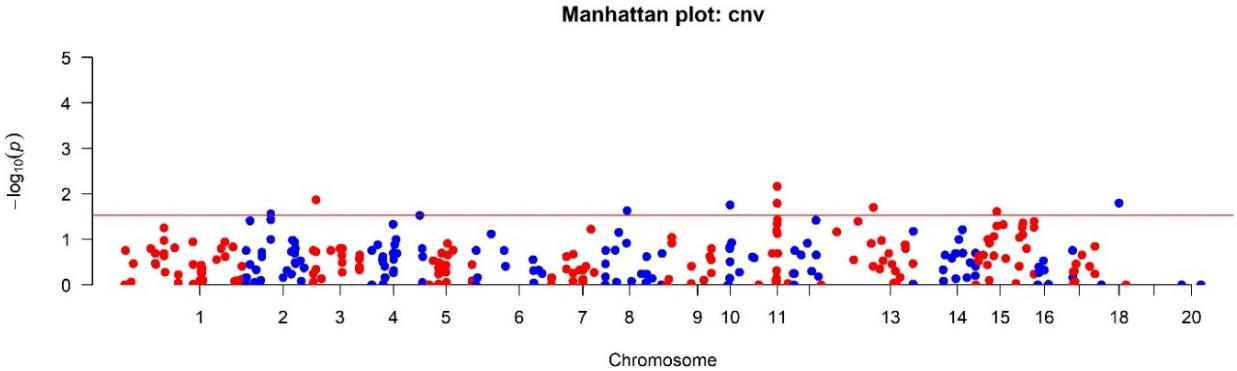


Рис. 1. **Полногеномные ассоциации CNV (на уровне зонда) с уровнем ALT на графике Manhattan plot /**
Fig. 1. **Genome-wide associations of CNV (at the probe level) with ALT level in Manhattan plot**

Таблица 1 – **CNV, показавшие значимость в ассоциативных исследованиях с признаком ALT у свиней крупной белой породы /**
Table 1 – **CNVs that have shown significance in association studies with the ALT trait in Large White pigs**

Номер хромосомы / Chromosome number	*Тип CNV Делеция / Дупликация / CNV type Loss / Gain*	*Начальная позиция / Starting position*	*Конечная позиция / Final position*	*Длина, п.н. / Length, bp*	*P-значение / P value*	*Частота числа копий / Copy Number Frequency*	*Ген / Gene*
11	Делеция / Loss	41633256	41678741	45486	0,0069	5	Межгенный регион / Intergenic region
18	Делеция / Loss	39828265	40005367	177103	0,0159	13	*BBS9*
10	Делеция / Loss	4129128	4227791	98664	0,0177	9	Межгенный регион / Intergenic region
13	Делеция / Loss	118463391	118641043	177653	0,0200	5	*TTC14*
8	Делеция / Loss	49804202	50027821	223620	0,0235	5	Межгенный регион / Intergenic region
2	Делеция / Loss	55919964	56022001	102038	0,0275	5	*ENSSSCG00000013954*
4	Дупликация / Gain	108386344	108421339	34996	0,0298	7	*KCND3*
13	Делеция / Loss	83329476	83460360	130885	0,0407	4	*TRPC1*
15	Делеция / Loss	131860850	131867206	6357	0,0407	4	*PSMD1*
11	Дупликация / Gain	41414301	41441041	26741	0,0455	8	Межгенный регион / Intergenic region
4	Делеция / Loss	48110457	48746712	636256	0,0467	7	*MMP16*
15	Делеция / Loss	62211674	62648679	437006	0,0479	15	*KCNJ3*
15	Делеция / Loss	47275099	47321518	46420	0,0512	8	*ADAM2*

Одним из генов, перекрывающих CNV для признака ALT, был *BBS9* (синдром Барде-Бидля 9), который кодирует белок, участвующий в формировании и функционировании цилий – клеточных структур, играющих важную роль в передаче сигналов и клеточной коммуникации. *BBC9* является частью октамерного белкового комплекса BBSome, регулирующего цилиарный транспорт и передачу сигналов. Мутации в этом гене связаны с синдромом Барде-Бидля, редким генетическим заболеванием, характеризующимся множественными патологиями, включая метаболические нарушения, ожирение, поражение печени и другие симптомы [15].

Ген *TTC14* (тетратрикопептидный повторный домен 14) кодирует белок, содержащий тетратрикопептидные повторы (TPR-домены), которые обычно участвуют в белково-белковых взаимодействиях. *TTC14* принимает участие в регуляции клеточного метаболизма, его дисфункция может приводить к повреждению клеток печени (гепатоцитов) или нарушению метаболических процессов, кроме того, его связывают с заболеваниями печени и желчевыводящих путей как цилиарная дискинезия [16].

Ген *KCND3* (подсемейство потенциал-зависимых калиевых каналов D член 3), кодирует белок, известный как Kv4.3, который является альфа-субъединицей потенциал-зависимого калиевого канала. Эти каналы играют важную роль в регуляции электрической активности клеток, особенно в сердечной мышце и нейронах. В работе C-T. Hsiao [17] отмечено, что усиление функции *KCND3* связано с накоплением железа и поражением головного мозга. Интересно отметить, что уровни сывороточного железа положительно коррелируют с ALT. Положительная корреляция между сывороточным железом и трансаминазами печени может быть обусловлена токсичностью повышенного уровня железа для гепатоцитов, а ферроптоз – одним из путей его патологического механизма. Можно предположить, что существуют генетические механизмы, обуславливающие различные уровни трансаминаз печени, а также содержание железа в организме.

Ген *TRPC1* (канал катионного потенциала транзиторного рецептора подсемейство C член 1) является мембранным белком, который может образовывать неселективный канал, проницаемый для кальция и других катионов. *TRPC1* может модулировать активацию звездчатых клеток печени, которые играют ключевую роль в развитии фиброза. В исследованиях на животных моделях было показано, что нарушение функции *TRPC1* может усиливать повреждение печени и повышать уровень ALT. *TRPC1* может контролировать высвобождение IL1β из макрофагов, ответственных за иммунный ответ, также участвует в воспалительном ответе на бактериальную инфекцию через сигнальный путь *TLR4/TRPC1/NF-kB* [18].

Ген *PSMD1* (компонент 26S протеасомы) играет ключевую роль в поддержании гомеостаза белков, удаляя неправильно свернутые или поврежденные белки, которые могут нарушить клеточные функции и белки, функции которых больше не требуются. Таким образом, протеасома участвует в многочисленных клеточных процессах, включая прогрессирование клеточного цикла, апоптоз или восстановление повреждений ДНК [19]. Прямой связи между геном *PSMD1* и ALT не обнаружено, но предположительно, дисфункция протеасомы может вызывать клеточный стресс, апоптоз и нарушение метаболических процессов в печени. Для подтверждения этой гипотезы необходимы дополнительные исследования.

Ген *MMP16* (матриксная металлопротеиназа 16) кодирует фермент, принадлежащий к семейству матриксных металлопротеиназ (MMPs). Эти ферменты играют важную роль в деградации компонентов внеклеточного матрикса (ECM) и участвуют в регуляции множества биологических процессов. Ген *MMP16* играет важную роль в эмбриональном развитии, воспроизводстве, ремоделировании матрикса кровеносных сосудов, а также в процессах заболеваний, таких как артрит и метастазирование. Последние данные свидетельствуют о важной роли матриксных металлопротеиназ в развитии хронических заболеваний печени [20].

Ген *KCNJ3* (потенциал-зависимый калиевый канал J, член 3) кодирует белок, который является интегральным мембранным белком и калиевым каналом внутреннего выпрямления. Ген *KCNJ3* играет значительную роль в регуляции сердечного ритма, может участвовать в регуляции высвобождения инсулина из β-клеток поджелудочной железы, секреции гормонов. Нарушения в работе этого гена могут приводить к сердечным аритмиям и вызывать вторичные эффекты на печень, такие как застойные явления и повреждение гепатоцитов. У свиней наличие мутаций в гене связывают с врожденной прогрессирующей атаксией и спастическим парезом [21].

Ген *ADAM2* (домен металлопептидазы *ADAM 2*) кодирует белок, который принадлежит к семейству ADAM – группе мембраносвязанных белков, обладающих активностью металлопротеиназ и дисинтегринов. Эти белки участвуют в различных клеточных процессах, включая адгезию, миграцию, сигнализацию и протеолитическую активность. Кодируемый белок является субъединицей интегрального гликопротеина мембраны сперматозоида, называемого фертилином, который играет существенную роль во взаимодействиях сперматозоида и яйцеклетки [22]. Печень играет ключевую роль в метаболизме, включая обмен белков, жиров и углеводов. Белки *ADAM* могут участвовать в регуляции сигнальных путей, связанных с метаболизмом. Однако конкретная роль *ADAM2* в этих процессах не установлена. У свиней гены семейства *ADAM* связаны с содержанием внутримышечного жира и весом поросят при рождении [3].

Поиск значимых CNV, ассоциированных с Urea. Уровень Urea в сыворотке отражает выделительную способность почек, а повышенные значения интерпретируются как снижение функции почек. Мочевина сыворотки, наряду с креатинином, является наиболее распространенным показателем функции почек. Концентрация мочевины в сыворотке сильно варьирует и, помимо функции почек, зависит от статуса гидратации, скорости метаболизма, потребления белка с пищей, приема лекарств, функции печени и сердца. Генетические факторы также имеют большое значение, так как уровень мочевины имеет достаточно высокую степень наследуемости, что указывает на вклад генетических факторов в межиндивидуальную вариабельность этого показателя. По результатам ассоциативного анализа между CNV и Urea определены 13 CNV, уровень значимости которых был меньше или равен 0,05 (рис. 2). Они пересекались с генами *ESR1*, *USP8*, *CAST*, *CNBD1, ENSSSCG00000060343, ENSSSCG00000036463, ENSSSCG00000037546, ENSSSCG00000051229, ENSSSCG00000058571* и четырьмя межгенными регионами (табл. 2).

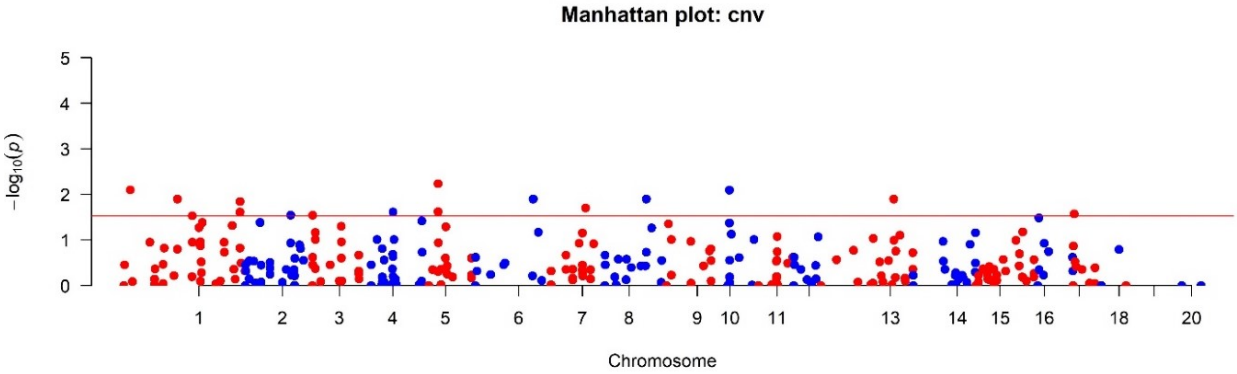


Рис. 2. **Полногеномные ассоциации CNV (на уровне зонда) с уровнем мочевины (Urea) /**
Fig. 2. **Genome-wide associations of CNV (at the probe level) with urea levels (Urea)**

Одним из генов, перекрывающихся с областью CNV, является *ESR1*, который кодирует рецептор эстрогена альфа (ERα) и является членом семейства ядерных рецепторов. *ESR1* играет ключевую роль в регуляции репродуктивной системы, метаболизма, костной ткани, сердечно-сосудистой и нервной систем. Он также участвует в развитии гормонозависимых опухолей и регуляции иммунного ответа. Нарушения в работе *ESR1* могут приводить к различным заболеваниям, включая остеопороз, сердечно-сосудистые заболевания и рак. Эстрогены участвуют в регуляции водно-электролитного баланса, что также может влиять на функцию почек и уровень мочевины. Установлено, что ген *ESR1* является одним из генов-кандидатов, которые могут служить фактором риска развития заболевания у беременных женщин как преэклампсия, характеризующихся нарушениями гемодинамики почек [23]. *ESR1* также является одним из ключевых генов-маркеров плодовитости свиней. Считается, что желательный вариант гена *ESR1*, ассоциированный с воспроизводительными качествами свиней, унаследован от свиней китайских пород. Свиньи китайских пород, наряду с высокой плодовитостью, также отличаются бóльшей толщиной шпика и меньшей скоростью роста, т. е. мясосальным типом, что возможно связано с определенным метаболизмом, отличным от метаболизма современного коммерческого поголовья свиней крупной белой породы. Относительно того,

какие эффекты, помимо высокой плодовитости, могли закрепиться у свиней коммерческого поголовья с внедрением «китайских» вариантов гена *ESR1,* как это связано с физиологическими процессами и здоровьем требует дальнейших исследований.

Таблица 2 – **CNV, показавшие значимость в ассоциативных исследованиях с признаком мочевины (Urea) /**
Table 2 – **CNVs that have shown significance in association studies with the Urea trait**

Номер хромосомы / Chromosome number	*Тип CNV Делеция / Дупликация / CNV type Loss / Gain*	*Начальная позиция / Starting position*	*Конечная позиция / Final position*	*Длина, п.н. / Length, bp*	*P-значение / P value*	*Частота числа копий / Copy Number Frequency*	*Ген / Gene*
1	Делеция / Loss	14418789	14418789	1	0,0080	6	*ESR1*
1	Делеция / Loss	121357034	121357034	1	0,0127	2	*USP8*
1	Дупликация / Gain	170064540	170357749	293210	0,0539	4	*ENSSSCG00000060343*
2	Делеция / Loss	103243085	103263735	20651	0,0289	8	*CAST*
3	Делеция / Loss	65316161	65554648	238488	0,0500	5	Межгенный регион / Intergenic region
4	Делеция / Loss	49626558	49626558	1	0,0245	6	*CNBD1*
4	Дупликация / Gain	114949993	114971428	21436	0,0382	4	Межгенный регион / Intergenic region
5	Делеция / Loss	20392961	20430578	37618	0,0058	14	*ENSSSCG00000036463*
5	Дупликация / Gain	20561805	20561805	1	0,0242	11	*ENSSSCG00000037546*
8	Дупликация / Gain	106369969	106430727	60759	0,0543	5	*ENSSSCG00000051229*
9	Делеция / Loss	5108314	5161397	53084	0,0443	6	*ENSSSCG00000058571*
10	Дупликация / Gain	3605230	3662420	57191	0,0426	23	Межгенный регион / Intergenic region
10	Дупликация / Gain	3692446	3692446	1	0,0081	20	Межгенный регион / Intergenic region

Ген *USP8* (убиквитин-специфическая пептидаза 8) кодирует фермент, который принадлежит к семейству деубиквитиназ (DUBs). Эти ферменты удаляют молекулы убиквитина с белков, регулируя их стабильность, локализацию и функцию. Данный процесс играет ключевую роль в регуляции стабильности и функции белков в клетке. Мочевина является конечным продуктом метаболизма белков и аминокислот в организме. Она образуется в печени в результате цикла мочевины, который включает несколько ферментов и реакций для удаления избыточного азота из организма. На сегодняшний день имеются данные, свидетельствующие о том, что убиквитин-специфические протеазы (USP) значительно влияют на метаболические заболевания. В частности, соматические мутации в гене *USP8* часто наблюдаются у людей с синдромом Кушинга, что указывает на регуляторную роль *USP8* в энергетическом метаболизме. Кроме того, *USP* вовлечены в прогрессирование диабетической нефропатии [24]. Предполагают, что нефропатия у свиней может быть вызвана гипергликемией, несбалансированным кормлением или комбинацией этих двух факторов.

Ген *CAST* (кальпастатин) кодирует белок кальпастатин, который является эндогенным ингибитором кальпаинов – семейства кальций-зависимых протеаз. Кальпаины участвуют в различных клеточных процессах, включая клеточную миграцию, апоптоз и ремоделирование цитоскелета. Кальпастатин связан со скоростью посмертной деградации структурных белков из-за регуляции активности кальпаина и может участвовать в протеолитическом расщеплении белков, которые затем метаболизируются с образованием мочевины. По гену *CAST* в базе Pig QTLdb найдено 28 ассоциаций у свиней, в основном с характеристиками туши и качеством мяса. Заболевания с участием *CAST* включают шелушение кожи с лейконихией, акральные точечные кератозы, хейлит [25].

Ген *CNBD1* (домен связывания циклических нуклеотидов, содержащий белок 1) кодирует белок, содержащий домен связывания циклических нуклеотидов. Данный домен играет важную роль в регуляции активности различных белков в ответ на изменения уровня циклических нуклеотидов, таких как циклический аденозинмонофосфат (cAMP) и циклический гуанозинмонофосфат (cGMP), которые являются важными вторичными мессенджерами в клетке и участвуют в различных сигнальных путях. Функции гена *CNBD1* могут быть связаны с синтезом белков через регуляцию трансляции и транскрипции, а также с процессом деградации белков через влияние на убиквитин-протеасомную систему. В исследованиях на китайских аборигенных свиньях была установлена связь гена *CNBD1* с иммунитетом, адаптивностью и восприимчивостью к заболеваниям [26].

Поиск значимых CNV, ассоциированных с RBC. Параметры эритроцитов наследуются от умеренной до высокой степени, что делает эти сложные количественные признаки отличными кандидатами для геномного исследования [27]. По результатам поиска определено 8 CNV, ассоциированных с RBC (рис. 3). Области CNV пересекаются с генами *PSMD1, TTC14, ENSSSCG00000013954, FUT8, CSMD3* и тремя межгенными вариантами (табл. 3).

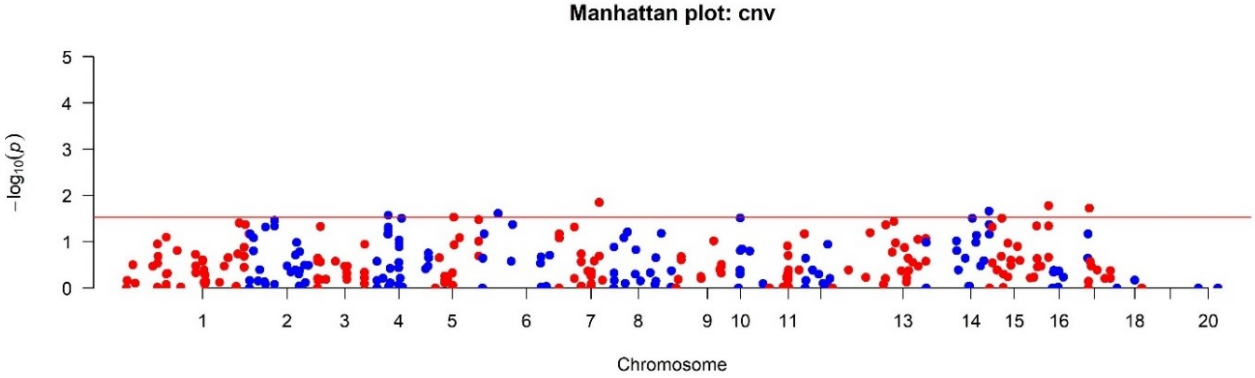


Рис. 3. **Полногеномные ассоциации CNV (на уровне зонда) с количеством эритроцитов (RBC) /**
Fig. 3. **Genome-wide associations of CNV (at the probe level) with red blood cell (RBC) counts**

Таблица 3 – **CNV, показавшие значимость в ассоциативных исследованиях с RBC /**
Table 3 – **CNVs that showed significance in association studies with RBC**

Номер хромосомы / Chromosome number	*Тип CNV Делеция / Дупликация / CNV type Loss / Gain*	*Начальная позиция / Starting position*	*Конечная позиция / Final position*	*Длина, п.н. / Length, bp*	*P-значение / P value*	*Частота числа копий / Copy Number Frequency*	*Ген / Gene*
15	Делеция / Loss	131860850	131867206	6357	0,0166	4	*PSMD1*
2	Делеция / Loss	56059911	56059911	1	0,0349	4	Межгенный регион / Intergenic region
13	Делеция / Loss	118463391	118641043	177653	0,0435	5	*TTC14*
2	Делеция / Loss	55919964	56022001	102038	0,0462	5	*ENSSSCG00000013954*
7	Делеция / Loss	89379257	89563387	184131	0,0141	6	*FUT8*
10	Делеция / Loss	4129128	4227791	98664	0,0309	9	Межгенный регион / Intergenic region.
4	Дупликация / Gain	25170989	25414838	243850	0,0268	10	*CSMD3*
6	Делеция / Loss	34806030	34906868	100839	0,0245	16	Межгенный регион / Intergenic region

Генами, пересекающими область CNV, были *PSMD1* и *TTC14,* которые ранее описаны в исследованиях с признаком ALT. Связь гена *PSMD1* с RBC может быть опосредована через влияние протеасомы на процессы, связанные с синтезом, созреванием и деградацией белков в эритроцитах. *PSMD1* участвует в поддержании белкового гомеостаза, защите от окислительного стресса и регуляции эритропоэза и гемолиза. Учитывая функции генов *TTC14* и *PSMD1*, можно предположить их участие в процессах клеточного цикла и апоптоза (программируемой гибели клеток), что важно для регуляции количества эритроцитов, изменения выживаемости предшественников эритроцитов и влияние на их конечное количество.

Ген *FUT8* (фукозилтрансферазы 8) кодирует фермент *α*-1,6-фукозилтрансферазу, который участвует в процессе фукозилирования – добавления остатков фукозы к молекулам белков и липидов. Этот процесс играет важную роль в посттрансляционной модификации белков, особенно в формировании N-гликанов (тип углеводных цепей, присоединённых к белкам). *FUT8* участвует в распознавании и устранении микробов, клеточной адгезии, антигенспецифическом иммунном ответе, развитии опухолей и модуляции функции иммунных клеток [28].

Белок, кодируемый геном *CSMD3* (белок, содержащий домен CUB и Sushi 3), принадлежит к семейству CSMD, члены которого задействованы в регуляции межбелковых взаимодействий между внеклеточными и трансмембранными белками, миграции нейронов, росте дендритов и образовании синапсов [29]. *CSMD3* может участвовать в регуляции сигнальных путей, связанных с TGF-β или Wnt, контролирующие дифференцировку и созревание эритроцитов.

Поиск значимых CNV, ассоциированных с WBC. Уровень WBC является значимым индикатором инфекционных и воспалительных заболеваний, играет ключевую роль в иммунной системе. По результатам CNV-GWAS для признака WBC было определено 7 CNV, уровень значимости которых был меньше или равен 0,05 (рис. 4). Они пересекались с генами *BBS9*, *BMPR2*, *KCND3*, *ENSSSCG00000015806* и тремя межгенными вариантами (табл. 4).

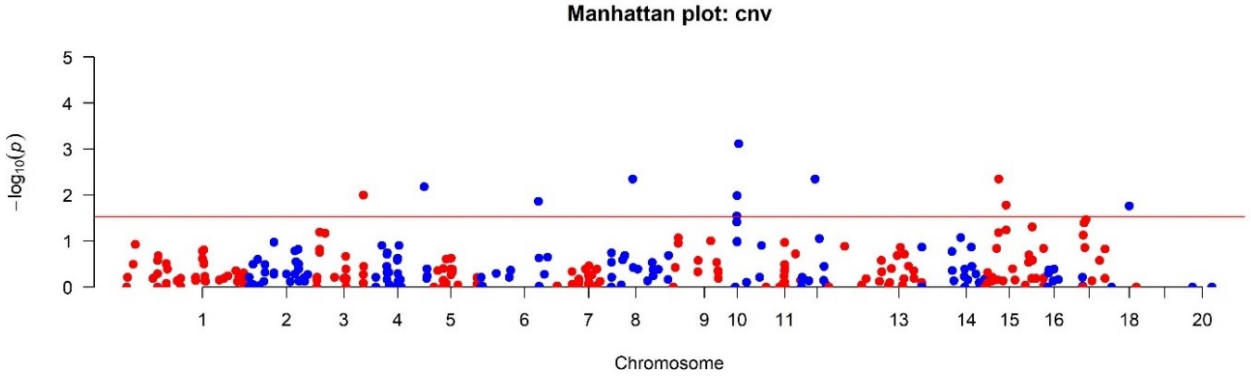


Рис. 4. **Полногеномные ассоциации CNV (на уровне зонда) с WBC /**
Fig. 4. **Genome-wide associations of CNV (at the probe level) with WBC**

Ген *BBS9* пересекает область CNV в исследованиях с признаком ALT и WBC. Мутации в гене кодируют цилиарные или центросомальные белки, вызывают дисфункцию ресничек, что лежит в основе развития тяжелых заболеваний, обычно называемых цилиопатиями. В работе О. Циклаури с соавторами (O. Tsyklauri et al.) представлена связь между цилиопатией и нарушением регуляции иммунной и кроветворной систем. У свиней в результате делеции образуется усеченный белок *BBS9*, приводящий к полной потере функции, и гомозиготные животные del/del умирают в середине и конце беременности, о чем свидетельствует значительное увеличение количества мумифицированных поросят в результате скрещивания носителей с носителями. Гетерозиготные носители демонстрируют повышенную скорость роста [30]. Все это свидетельствует о значительной роли CNV в гене *BBS9* в кроветворных функциях, физиологических процессах, фенотипах продуктивности у свиней и требует дальнейшего изучения.

Ген *KCND3* был установлен в исследованиях с признаком ALT, но также определен в области CNV с признаком WBC. Можно предположить, что связь гена *KCND3* с WBC обусловлена его участием в регуляции воспалительных процессов, включая высвобождение цитокинов и хемокинов, и влиянием на воспалительный ответ.

Таблица 4 – **CNV, показавшие значимость в ассоциативных исследованиях с признаком WBC /**
Table 4 – **CNVs that showed significance in association studies with the WBC trait**

Номер хромосомы / Chromosome number	*Тип CNV Делеция / Дупликация / CNV type Loss / Gain*	*Начальная позиция / Starting position*	*Конечная позиция / Final position*	*Длина, п.н. / Length, bp*	*P-значение / P value*	*Частота числа копий / Copy Number Frequency*	*Ген / Gene*
10	Дупликация / Gain	3605230	3662420	57191	0,0287	23	Межгенный регион / Intergenic region
10	Дупликация / Gain	3692446	3692446	1	0,0389	20	Межгенный регион / Intergenic region
18	Делеция / Loss	39828265	40005367	177103	0,0173	13	*BBS9*
10	Делеция / Loss	4129128	4227791	98664	0,0103	9	Межгенный регион / Intergenic region
4	Дупликация / Gain	108386344	108421339	34996	0,0066	7	*KCND3*
15	Делеция / Loss	47339858	47339858	1	0,0168	7	*ENSSSCG00000015806*
15	Делеция / Loss	106024546	106276265	251720	0,0496	4	*BMPR2*

CNV, показавший значимость в ассоциативных исследованиях с признаком WBC, перекрывает ген *BMPR2* (рецептора костного морфогенетического белка тип 2). Ген *BMPR2* кодирует белок, который является рецептором для костных морфогенетических белков (BMPs) – группы факторов роста, принадлежащих к суперсемейству TGF-β (трансформирующего фактора роста бета). *BMPR2* относится к семейству генов, изначально идентифицированных по его роли в регуляции роста, созревания (дифференциации) костей и хрящей. Связь с WBC обусловлена регуляцией функции эндотелия (внутренней выстилки кровеносных сосудов) и поддержания сосудистого тонуса, регуляции иммунного ответа, включая воспалительные процессы и дифференцировку иммунных клеток. В исследованиях М. Амандыкова с соавторами (M. Amandykova et al.) описана связь адипоцитов и иммунной регуляции гена *BMPR2*. Дисфункция адипоцитов, связанная с *BMPR2*, способствовала воспалению легких и аномальному восстановлению, в котором адипоцитокины могут играть определенную роль [31].

Заключение. На основе CNV-GWAS определены CNV (делеции/дупликации), ассоциированные с признаками ALT, Urea, RBC и WBC. По результатам аннотации, согласно сборке Sscrofa11.1 с использованием Ensembl Genome Browser, определены гены, перекрывающие CNV, которые могут быть кандидатами для изучаемых признаков крови: ALT *(BBS9, TTC14, KCND3, TRPC1, PSMD1, MMP16, KCNJ3, ADAM2);* Urea *(ESR1, USP8, CAST, CNBD1);* RBC *(PSMD1, TTC14, FUT8, CSMD3);* WBC *(BBS9, KCND3, BMPR2).* Обнаружены плейотропные области, играющие роль как в гемопоэзе, так и в иммунном ответе, функциях печени и почек, а также связанные с параметрами качества мяса, метаболизмом и репродуктивными признаками. Согласно функциональной аннотации, определенные в ходе исследований гены могут быть рассмотрены как перспективные генетические маркеры в кроветворных функциях, физиологических процессах и фенотипах продуктивности у свиней. Гены, установленные в ассоциативных исследованиях у свиней, могут служить моделями для изучения аналогичных процессов у людей благодаря высокой степени геномной и функциональной консервативности и требуют дальнейшего проведения исследований.

References

1. Getmantseva L., Kolosova M., Fede K., Korobeinikova A., Kolosov A., Romanets E., et al. Finding Predictors of Leg Defects in Pigs Using CNV-GWAS. Genes (Basel). 2023;14(11):2054. DOI: https://doi.org/10.3390/genes14112054

2. Bovo S., Mazzoni G., Bertolini F., Schiavo G., Galimberti G., Gallo M., et al. Genome-wide association studies for 30 haematological and blood clinical-biochemical traits in Large White pigs reveal genomic regions affecting intermediate phenotypes. Nature. Scientific Reports. 2019;9:7003. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-43297-1

3. Poklukar K., Čandek-Potokar M., Vrecl M., Batorek-Lukač N., Fazarinc G., Kress K., et al. Adipose Tissue Gene Expression of Entire Male, Immunocastrated and Surgically Castrated Pigs. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22:1768. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms22041768

4. Fontanesi L. Metabolomics and livestock genomics: Insights into a phenotyping frontier and its applications in animal breeding. Animal Frontiers. 2016;6(1):73–79. DOI: https://doi.org/10.2527/af.2016-0011

5. Кошкина О. А., Денискова Т. Е., Зиновьева Н. А. Вариация числа копий (CNV) как перспективный генетический маркер: распространение, методы валидации и гены-кандидаты в геномах сельскохозяйственных животных (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):355–368.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.355-368 EDN: EVUJWZ

Koshkina O. A., Deniskova T. E., Zinovieva N. A. Copy number variation (CNV) as a promising genetic marker: distribution, validation methods and candidate genes in genomes of livestock species (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):355-368. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.355-368

6. Shao X., Lv N., Liao J., Long J., Xue R., Ai N., et al. Copy number variation is highly correlated with differential gene expression: a pan-cancer study. BMC Medical Genetics. 2019;20(1):175. DOI: https://doi.org/10.1186/s12881-019-0909-5

7. Hilger A. C., Dworschak G. C., Reutter H. M. Lessons Learned from CNV Analysis of Major Birth Defects. International Journal of Molecular Sciences. 2020;21(21):8247. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms21218247

8. Wright D., Boije H., Meadows J. R., Bed'hom B., Gourichon D., Vieaud A., et al. Copy Number Variation in Intron 1 of *SOX5* Causes the Pea-comb Phenotype in Chickens. PLoS genetics. 2009;5(6):e1000512.
DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000512

9. Sundström E., Imsland F., Mikko S., Wade C., Sigurdsson S., Pielberg G. R., et al. Copy number expansion of the STX17 duplication in melanoma tissue from Grey horses. BMC Genomics. 2012;13:365.
DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-365

10. Hillbertz S., Isaksson N. H., Karlsson M., Hellmén E. K., Pielberg E., Savolainen G. R., et al. Duplication of FGF3, FGF4, FGF19 and ORAOV1 causes hair ridge and predisposition to dermoid sinus in Ridgeback dogs. Nature genetics. 2007;39:1318–1320. DOI: https://doi.org/10.1038/ng.2007.4

11. Sun G., Liang X., Qin K., Qin Y., Shi X., Cong P., et al. Functional Analysis of KIT Gene Structural Mutations Causing the Porcine Dominant White Phenotype Using Genome Edited Mouse Models. Frontiers in genetics. 2020;11:138. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00138

12. Zappaterra M., Gioiosa S., Chillemi G., Zambonelli P., Davoli R. Muscle transcriptome analysis identifies genes involved in ciliogenesis and themolecular cascade associatedwith intramuscular fat content in LargeWhite heavy pigs. PLoS One. 2020;15:e0233372. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233372

13. Dauben C. M., Pröll-Cornelissen M. J., Heuß E. M., Appel A. K., Henne H., Roth K., et al. Genome-wide associations for immune traits in two maternal pig lines. BMC Genomics. 2021;22:717.
DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-021-07997-1

14. Ghomsi S. O. M., Pechangou S. N., Maafo R. S., Mouafo H. T., Etchu A. K., Bilong F. C. B., Moundipa P. F. Assessment of the digestibility, growth performance, hematological and serum biochemical profile of Bandjock Local Pigs (BLP) and Duroc X Large White pigs (DLW). Journal Veterinary and Animal Science. 2024;25:100370.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100370

15. Al-Mat'hammi A. A., Alzahrani S. A., Alsefry F. S., Ghurab S., Alghamdi M. Homozygous Pathogenic Variant in BBS9 Gene: A Detailed Case Study of Bardet-Biedl Syndrome. Cureus. 2024;16(7):e65774.
DOI: https://doi.org/10.7759/cureus.65774

16. Liu L., Wang W., Liu W., Li X., Yi G., Adetula A. A., et al. Comprehensive Atlas of Alternative Splicing Reveals NSRP1 Promoting Adipogenesis through *CCDC18*. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(5):2874. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms25052874

17. Hsiao C-T., Tropea T. F., Fu S-J., Bardakjian T. M., Gonzalez-Alegre P., Soong B-W., et al. Rare. Gain-of-Function KCND3 Variant Associated with Cerebellar Ataxia, Parkinsonism, Cognitive Dysfunction, and Brain Iron Accumulation. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22(15):8247. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms22158247

18. Lam L. K. M., Murphy S., Kokkinaki D., Venosa A., Sherrill-Mix S., Casu C., et al. DNA binding to TLR9 expressed by red blood cells promotes innate immune activation and anemia. Science Translational Medicine. 2021;13(616):eabj1008. DOI: https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abj1008

19. Chen X., Liu G., Wu B. Analysis and experimental validation of the innate immune gene *PSMD1* in liver hepatocellular carcinoma and pan-cancer. Heliyon. 2023;9(11):e21164. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21164

20. Lu Y-Q., Wang Y. Multi-Omic Analysis Reveals Genetic Determinants and Therapeutic Targets of Chronic Kidney Disease and Kidney Function. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(11):6033.
DOI: https://doi.org/10.3390/ijms25116033

21. Lee W. W., Lee C. G., Ki C. S. KCNJ3 is a novel candidate gene for autosomal dominant pure hereditary spastic paraplegia identified using whole genome sequencing. American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics. 2024;195(7):e32984. DOI: https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32984

22. Bindesbøll C., Aas A., Ogmundsdottir M. H., Pankiv S., Reine T., Zoncu R., Simonsen A. NBEAL1 controls SREBP2 processing and cholesterol metabolism and is a susceptibility locus for coronary artery disease. Scientific reports. 2020;10:4528. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-61352-0

23. Курбанов Б. Б., Курбанов Д. Д., Ибрагимов З. З. Исследование ассоциации полиморфизма гена *ESR1* у женщин с преэклампсией. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. 2021;16(2):58–60. DOI: https://doi.org/10.25881/20728255_2021_16_2_58 EDN: PSBDQG

Kurbanov B. B., Kurbanov D. D., Ibragimov Z. Z. Features of ESR1 gene polymorphism in women with preeclampsy. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N. I. Pirogova* = Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2021;16(2):58–60. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25881/20728255_2021_16_2_58

24. Kitamura H. Ubiquitin-Specific Proteases (USPs) and Metabolic Disorders. Journal of Molecular Sciences. 2023;24(4):3219. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms24043219

25. Yuan H., Wei W., Zhang Y., Li C., Zhao S., Chao Z., et al. Unveiling the Influence of Copy Number Variations on Genetic Diversity and Adaptive Evolution in China's Native Pig Breeds via Whole-Genome Resequencing. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(11):5843. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms25115843

26. Hodonsky C. J., Baldassari A. R., Bien S. A., Raffield L. M., Highland H. M., Sitlani C. M., et al. Ancestry-specific associations identified in genome-wide combined-phenotype study of red blood cell traits emphasize benefits of diversity in genomics. BMC Genomics. 2020;21:228. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-020-6626-9

27. Qiang Y. X., Deng Y. T., Zhang Y. R., Wang H. F., Zhang W., Dong Q., et al. Associations of blood cell indices and anemia with risk of incident dementia: A prospective cohort study of 313,448 participants. Alzheimer's & Dementia Journal. 2023;19(9):3965–3976. DOI: https://doi.org/10.1002/alz.13088

28. Shi M., Nan X-R., Liu B-Q. The Multifaceted Role of FUT8 in Tumorigenesis: From Pathways to Potential Clinical Applications. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(2):1068. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms25021068

29. Xi K., Cai S. Q., Yan H. F., Tian Y., Cai J., Yang X. M., et al. CSMD3 Deficiency Leads to Motor Impairments and Autism-Like Behaviors via Dysfunction of Cerebellar Purkinje Cells in Mice. Journal of Neuroscience. 2023;43(21):3949–3969. DOI: https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1835-22.2023

30. Tsyklauri O., Niederlova V., Forsythe E., Prasai A., Drobek A., Kasparek P. et al. Bardet-Biedl Syndrome ciliopathy is linked to altered hematopoiesis and dysregulated self-tolerance. EMBO Reports. 2021;22:e50785. DOI: https://doi.org/10.15252/embr.202050785

31. Amandykova M., Akhatayeva Z., Kozhakhmet A., Kapassuly T., Orazymbetova Z., Yergali K., et al. Distribution of Runs of Homozygosity and Their Relationship with Candidate Genes for Productivity in Kazakh Meat–Wool Sheep Breed. Genes. 2023;14(11):1988. DOI: https://doi.org/10.3390/genes14111988

Сведения об авторах

✉ **Колосова Мария Анатольевна**, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетической экспертизы, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», ул. Кривошлыкова, д. 24, п. Персиановский, Российская Федерация, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2824-9564**, e-mail: m.leonovaa@mail.ru

Гетманцева Любовь Владимировна, ведущий научный сотрудник отдела селекции и разведения свиней, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148**

Бакоев Сирождин Юсуфович, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетической экспертизы, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», ул. Кривошлыкова, д. 24, п. Персиановский, Российская Федерация, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0324-3580**

Колосов Анатолий Юрьевич, ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга селекционно-племенной работы в скотоводстве и оценки племенных качеств быков-производителей, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6583-8942**

Information about the authors

✉ **Mariya A. Kolosova**, leading researcher, the Laboratory of Molecular Genetic Expertise, Don State Agrarian University, st. Krivoshlykova, 24, Persianovsky, Russian Federation, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2824-9564**, e-mail: m.leonovaa@mail.ru

Lyubov V. Getmantseva, leading researcher, the Department of Pig Selection and Breeding, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148**

Sirodzhdin Yu. Bakoev, researcher, the Laboratory of Molecular Genetic Expertise, Don State Agrarian University, st. Krivoshlykova, 24, Persianovsky, Russian Federation, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0324-3580**

Anatoly Yu. Kolosov, leading researcher, the Laboratory for Monitoring Selection and Breeding Work in Cattle Breeding and Evaluation of Breeding Qualities of Breeding Bulls, All Russian Research Institute of Animal Breeding, st. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6583-8942**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.369–378
УДК 636.2:636.034

Биологические особенности молочного скота и повышение эффективности его разведения в условиях интенсификации животноводства Ярославской области

© 2025. Р. В. Тамарова, Е. И. Ухов✉
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет», г. Ярославль, Российская Федерация

Цель исследований – установить наиболее эффективные приемы селекции молочного скота для работы со стадом на перспективу. Исследования проводили по данным зоотехнического и племенного учета. Объектом исследований являлись 286 коров и 7 быков-производителей двух линий голштинской породы Вис Бэк Айдиал и Рефлекшин Соверинг. Проанализированы показатели молочной продуктивности дочерей за первую лактацию: удой за 305 дней, массовая доля жира, массовая доля белка, сумма молочного жира и белка, проведено сравнение дочерей с матерями и сверстницами. Определена корреляции и наследуемость признаков в парах «мать-дочь». Установлена хорошая адаптационная способность коров михайловского типа ярославской породы, положительный эффект разведения в условиях интенсивной технологии на молочном комплексе. Выявлены лучшие быки-производители для селекции на перспективу. Кроме того, отражены результаты оценки этих быков методом BLUP в племенных хозяйствах РФ, проведенной во ВНИИплем. Выявлен лучший бык-производитель, препотентный улучшатель молочной продуктивности дочерей – Трейсер 3125479393, с высоким селекционным эффектом по комплексу показателей – количественных и качественных, который целесообразно использовать в повторном подборе для совершенствования молочного скота. В результате исследования установлены довольно высокие фактические показатели дочерей: по удою – от 7764 кг до 8777 кг, по МДЖ – от 3,87 до 4,08 %; по МДБ – от 3,34 до 3,66 %. Дочери значительно превосходят своих матерей по удою – от 1348 до 2399 кг (P≤0,01) и по белку – от 0,17 до 0,66 % (P≤0,01), по жирномолочности достоверно уступают матерям – от -0,1 до -0,43 % (P≤0,1). Суммарное содержание молочного жира и белка в килограммах у дочерей также выше, чем у матерей – от 16,6 до 41,1 % (P≤0,01).

Ключевые слова: *михайловский тип, молочное скотоводство, быки-производители, племенная ценность, качество потомства, молочная продуктивность, селекционный эффект*

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы по теме «Разработка способа сохранения ценного генофонда ярославской породы крупного рогатого скота при использовании межпородного скрещивания» (Рег. № 1024112200006-7-4.2.1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Тамарова Р. В., Ухов Е. И. Биологические особенности молочного скота и повышение эффективности его разведения в условиях интенсификации животноводства Ярославской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):369–378. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.369-378

Поступила: 20.11.2024 Принята к публикации: 25.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Biological features of dairy cattle and increasing the efficiency of its breeding in the context of livestock intensification in the Yaroslavl region

© 2025. Raisa V. Tamarova, Egor I. Ukhov✉
Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russian Federation

The purpose of the research is to establish the most effective methods of breeding dairy cattle for working with the herd in the future. The research was conducted according to the data of zootechnical and breeding records. The object of the research were 286 cows and 7 sires of two Holstein lines: Vis Back Ideal and Reflection Sovering. The following indicators of daughter productivity were analyzed for the first lactation: milk yield for 305 days of lactation, mass fraction of fat, mass fraction of protein in milk, as well as the sum of milk fat and protein in kg, also daughters were compared with mothers and peers. Correlations and heritability of productivity traits in mother-daughter pairs have been determined. Good adaptability of Mikhailovsky type of cows of the Yaroslavl breed, a positive effect of breeding under intensive technology conditions at a dairy complex have been established. The best sires for future breeding have been identified. In addition, the results of the BLUP assessment of these sires in breeding farms of the Russian Federation conducted at VNIIplem are reflected. At the same time, the best stud bull, a prepotent improver of daughters' milk productivity, Tracer 3125479393, with a high breeding effect on a set of quantitative and qualitative indicators, was identified. It is advisable to use it in re-selection for the improvement of dairy cattle. It has been established that the actual indicators of daughters are quite high: from 7764 kg to 8777 kg in milk yield, from 3.87 to 4.08 % in MFF (Milk Fat Fraction) and from 3.34 to 3.66 % in MPF (Milk Protein Fraction). Daughters significantly surpass their mothers in milk yield from 1348 kg to 2399 kg (P≤0.01)) and in protein – 0.17 to 0.66 % (P≤0.01);

in terms of milk fat content, they are significantly inferior to mothers – from -0,1 to -0.43 % (P≤0.1). The total content of milk fat and protein in kilograms is also higher in daughters than in mothers – from 16.6 to 41.1 % (P≤0.01).

Keywords: *Mikhailovsky type, dairy cattle breeding, sires, breeding value, quality of offspring, milk production, selection effect*

Acknowledgments: the study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of a research project on the topic "Development of a method for preserving the valuable gene pool of the Yaroslavl breed of cattle using interbreeding" (Per. No. 1024112200006-7-4.2.1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Tamarova R. V., Ukhov E. I. Biological features of dairy cattle and increasing the efficiency of its breeding in the context of livestock intensification in the Yaroslavl region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):369–378. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.369-378

Received: 20.11.2024 Accepted for publication: 25.03.2025 Published online: 29.04.2025

В настоящее время в России молочное скотоводство является одной из ведущих отраслей животноводства. От крупного рогатого скота в нашей стране получают около 94 % молока. В Ярославской области – объем выручки от реализации молока составляет 75–78 % от общего в агропромышленном комплексе. Однако продовольственный рынок молока и молочных продуктов пока формируется частично за счет ввоза из других регионов или по импорту. Поэтому повышение уровня молочной продуктивности коров является актуальным и поныне.

Основные производители молока для обеспечения потребностей населения – крупные сельскохозяйственные предприятия, использующие современные интенсивные технологии. [1].

В селекционной работе с молочным стадом региона хозяйства применяют межпородное скрещивание отечественного скота с использованием лучшего мирового генофонда – голштинской породы, что характерно и для всей страны в период интенсификации молочного скотоводства [2].

Голштинизированный ярославский скот представлен в регионе в основном михайловским типом, утвержденным в этом статусе в 1998 году МСХ РФ для широкого использования как новое селекционное достижение. Он выведен в течение 20 лет целенаправленной селекцией в племзаводе ОПХ «Михайловское» Ярославского НИИ животноводства и кормопроизводства, на крупном молочном комплексе с привязным содержанием коров. Животные отличаются повышенной скороспелостью, более крупной живой массой, обильномолочностью с первых лактаций, хорошей пригодностью коров к машинному доению, улучшенным экстерьером. Кровность по голштинской породе 60–80 %, консолидирован методом воспроизводительного скрещивания, при разведении «в себе» в течение 4 поколений и методическом отборе по целевым стандартам [3].

В Ярославской области продолжается племенная работа по чистопородному разведению животных одной из наиболее ценных отечественных пород – ярославской, которая по ряду биологических и хозяйственно полезных качеств и в настоящее время является конкурентоспособной. В регионе внедряется национальный проект «Ускоренное развитие АПК», поэтому наблюдается устойчивая тенденция роста голштинского и голштинизированного скота, сокращение ярославского чистопородного [4]. Создаются крупные холдинги вокруг городов и промышленных центров путем объединения нескольких племенных хозяйств. ООО «Агромир» входит в число лучших сельскохозяйственных предприятий по объему производства молока и его рентабельности (топ-10). Создан при объединении 2 ведущих племзаводов и 3 племрепродукторов по ярославской породе. Стадо-оригинатор михайловского типа переведено в это хозяйство на комплекс с беспривязным содержанием коров, отделение «Курба».

Отличительной особенностью хозяйства является изменение метода селекционной работы, переход на поглотительное скрещивание до получения животных с кровностью по голштинской породе свыше 80–90 %. Кроме того, в работе со стадом стали использовать быков неродственной линии Вис Бэк Айдиал – для поддержания гетерозиготности и возможного гетерозиса.

В системе крупномасштабной селекции ключевым звеном является работа с быками-производителями, их оценка по качеству потомства и повышение роли в генетическом улучшении стада [5]. Важно и изучение корреляции признаков, определение коэффициентов наследуемости молочной продуктивности от матерей и женских предков быков-отцов

методом дисперсионного анализа, сочетаемости родительских пар при индивидуальном подборе и т. д. [6, 7].

В последние годы доказана относительность официального определения величин племенной ценности быков-производителей. В некоторых случаях «худшие» по рейтингам признаков быки-производители не уступали «лучшим» в величинах разностей «дочь-мать». Предложено независимо от «коммерческих» и ранее проведенных оценок быков-производителей учитывать индексы родословных и виды подбора при их выведении [8]. Результаты исследования коллектива авторов на маточном поголовье палево-пестрой популяции крупного рогатого скота в пяти регионах РФ (Белгородская, Воронежская, Курская, Орловская области и Алтайский край) также показали различия в величинах оценок племенной ценности одних и тех же производителей на уровне объединённой информации (популяционный уровень) и в стадах отдельных регионов (региональный уровень) [9]. П. И. Отрадновым и А. А. Сермягиным отмечена сходимость племенной ценности признаков молочной продуктивности, связанных с удоем за 305 дней, а также продолжительности сервис-периода, выраженная в значениях коэффициента повторяемости рангов оцененных производителей на уровне r = 0,87…0,96. Зафиксирована тенденция к её повышению в выборке: у быков с пороговым количеством дочерей 10 голов коэффициент повторяемости составил 0,40…0,42, при числе дочерей 80 и более – 0,89…0,95 [10].

Исследование влияния генетических и паратипических факторов на продуктивные качества животных, работа с линиями, закладка и введение заводских семейств имеет не только теоретическую, но и большую практическую значимость.

Цель исследований – установить наиболее эффективные приемы селекции для работы со стадом на перспективу в условиях интенсификации молочного скотоводства Ярославской области при использовании традиционных классических и современных методов зоотехнической науки и популяционной генетики.

Задачи исследований: проанализировать влияние быков разных линий на показатели молочной продуктивности дочерей за 1-ю лактацию и установить лучшие варианты; рассчитать коэффициенты корреляции и наследуемости признаков в родственных парах «мать-дочь»; оценить динамику молочной продуктивности коров при переводе с привязного содержания на беспривязное в сравнительном аспекте; проанализировать изменение основных экономических показателей.

Научная новизна – проанализировано влияние быков разных линий на показатели молочной продуктивности дочерей за 1-ю лактацию и установлены наиболее эффективные производители, в частности лучшие показатели молочной продуктивности имели дочери быков Мадалион, Трейсер линии Вис Бэк Айдиал и Детур линии Рефлекшн Соверинг. Установлено превосходство дочерей голштинских быков по первой лактации матерей михайловского типа по удою от 19,0 до 37,6 % и содержанию белка в молоке. Внесен вклад в изучение отечественного генофонда высокопродуктивных животных, обеспечивающих импортозамещение и продовольственную безопасность за счет внутренних резервов страны.

Материал и методы. Информационной базой служили данные зоотехнического и племенного учета по программе «Селэкс», сертификаты на племрепродукцию, каталоги быков-производителей.

Методы исследований – традиционные классические и современные популяционно-генетические с биометрической обработкой количественных показателей на ПК[1] [11].

Подконтрольное поголовье составило 286 коров с законченной лактацией и 7 быков – их отцов двух линий голштинской породы – Вис Бэк Айдиал 1013415 (Висконсин 3128824329, Карлино 71906169, Мадалион 3125993713, Тэппс 3133735686, Трейсер 3125479393) и Рефлекшн Соверинг 198998 (Детур 73143748, Кабриолет 69560690), имевших дочерей с поголовьем от 17 до 50 голов, достаточным для оценки селекционного эффекта производителей в стаде. Дочери быков выращены и лактировали в единых средовых условиях при нормированном кормлении. Они – сверстницы по отношению друг к другу, что делает показатели их молочной продуктивности сравнимыми. Матери дочерей выращены и лактировали на комплексе племзавода ОПХ «Михайловское» при привязном стойлово-пастбищном содержании и доении в молокопровод. Вместимость обоих комплексов одинаковая – по 900 коров. Обслуживающий персонал – частично тот же (операторы машинного доения).

[1]Лебедько Е. Я., Хохлов А. М., Барановский Д. И., Гетманец О. М. Биометрия в MS Excel: учебное пособие для вузов. 3-е изд., стер. СПб: Лань, 2022. 172 с. URL: https://e.lanbook.com/book/242864

Оценка быков по качеству потомства и селекционному эффекту в стаде проведена по комплексному показателю – количеству молочного жира и белка за 1-ю лактацию в килограммах, учитывающему одновременно все 3 признака молочной продуктивности: удой, содержание жира и белка в молоке (количество и качество). Биометрическую обработку проводили с помощью программы для ЭВМ "Биометрическая обработка данных по молочной продуктивности и воспроизводительным качествам крупного рогатого скота" в MS Excel [12]. Сила влияния отцов и матерей на продуктивность дочерей-первотелок рассчитана методом дисперсионного анализа[2].

Результаты и их обсуждение. Показатели продуктивности дочерей разных быков в единых средовых условиях приведены в таблице 1

Таблица 1 – **Продуктивность за первую лактацию дочерей голштинских быков в стаде молочного комплекса ООО «Агромир» /**
Table 1 – **Productivity during the first lactation of daughters of Holstein bulls in a herd of a dairy complex OOO «Agromir»**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*n*	*Удой, кг / Yield, kg*	*МДЖ, % / MFF, %*	*Жир, кг / Fat, kg*	*МДБ, % / MPF, %*	*Белок, кг / Protein, kg*
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	8050±176	3,96±0,04	319±7,7	3,52±0,02	283±5,7
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	7764 ±177	4,08±0,04	317±7,6	3,64±0,03	282±6,0
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	8777±235	3,97±0,07	347±8,7	3,47±0,04	304±6,7
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	8429 ±281	3,90±0,06	328±10,5	3,55±0,04	299±8,5
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	7911 ±307	4,08±0,07	324±15	3,66±0,05	290±12
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	8463±275	3,87±0,06	326±10,9	3,34±0,04	282±7,9
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	8532±242	3,93±0,08	333±7	3,52±0,05	299±5,5
В среднем по выборке / The average of the sample		8275	3,97	328	3,53	292

Поскольку все дочери данных быков были выращены и лактировали в единых средовых условиях, можно сравнить показатели их молочной продуктивности между собой по принципу дочери-сверстницы. Как видим, различие между группами дочерей все же имеется в силу закономерности естественного разнообразия животных. Фактические показатели дочерей довольно высокие: от 7764 до 8777 кг по удою, от 3,87 до 4,08 % – по МДЖ; от 3,34 до 3,66 % – по МДБ. Разность между максимальными и минимальными показателями составляет по удою 1013 кг, или 12 % от среднего по всему поголовью, по МДЖ – 0,22 %, по МДБ – 0,32 %. Эти различия обусловлены генетически, а именно влиянием не только быков-отцов, но и матерей. Поэтому для оценки селекционного эффекта в данном стаде целесообразно сравнить продуктивность дочерей с матерями, хотя этот метод и считается дополнительным при определении племенных категорий быков.

Из данных таблицы 2 видно, что при относительно небольшой разности по удою матерей дочери различались по качественным показателям молока и имели достоверную положительную, либо отрицательную корреляцию с матерями по массовой доле жира и белка. Так, кроме дочерей быка Кабриолет, по жирномолочности достоверно уступали матерям от -0,1 до -0,43 %, а по массовой доле белка превосходили от 0,17 до 0,67 %. По суммарному выходу молочного жира и белка дочери всех быков превышали своих матерей. Наибольшее значение у дочерей быка Детур – 216 кг. По удою достоверно превышали своих матерей дочери Трейсера и Мадалиона.

[2]Филинская О. В. Информационные технологии в животноводстве: Практикум для обучающихся по направлению подготовки 36.03.02 «Зоотехния». Ярославль: ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», 2019. 58 с.

Данные о коэффициентах корреляции и наследуемости признаков молочной продуктивности в родственных парах «мать-дочь» представлены в таблице 3. У дочерей быка Трейсер коэффициенты корреляции по признакам молочной продуктивности высокие и положительные. При этом у них также отмечается лучшая наследуемость этих признаков. У дочерей быков Висконсин и Детур средняя положительная взаимосвязь по массовой доле жира в молоке, а у дочерей Детура и Тэппса – по массовой доле белка. У дочерей быка Кабриолет отмечена слабая отрицательная взаимосвязь по удою и МДЖ.

Сравнение генетического потенциала быков при оценке по методу BLUP представляет интерес для более глубокого изучения, так как он позволяет с высокой степенью достоверности определить племенную ценность животных.

Результаты племенной ценности быков методом BLUP представлены в таблице 4, данные находятся в открытом доступе публикаций ВНИИплем РФ. Все эти быки – голштинские чистопородные, селекции США, рожденные в 2013–2016 гг.

Из данных таблицы 4 видно, что наивысшую племенную ценность имеет бык Трейсер. Тот же результат подтвержден в стаде ООО «Агромир», что свидетельствует о консолидации этого производителя, его препотентности и высокой племенной ценности. Бык Мадалион при относительно меньшей оценке методом BLUP проявил положительный селекционный эффект в данном стаде. Это указывает на хорошую сочетаемость производителя с коровами стада. Следовательно, можно использовать в повторном подборе к стаду обоих производителей.

Таблица 2 – **Продуктивность матерей по первой лактации и разность в парах «мать-дочь»** /
Table 2 – **Maternal productivity during the first lactation and differences in mother-daughter pairs**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*n*	*Продуктивность матерей / Maternal productivity*					*Разность в продуктивности дочери-матери / Difference in productivity between mother and daughter*			
		удой, кг / yield, kg	*МДЖ, % / MFF, %*	*жир, кг / fat, kg*	*МДБ, % / MPF, %*	*белок, кг / protein, kg*	*удой, кг / yield, kg*	*МДЖ, % / MFF, %*	*МДБ, % / MPF, %*	*МДЖ + МДБ, кг / MFF + MPF, kg*
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	6267±166	4,23±0,06	265±7,70	3,14±0,03	196±5	1783***	-0,27***	0,39***	141***
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	6208±229	4,18±0,05	257±8,7	3,19±0,03	197±7,0	1556***	-0,10	0,46***	145***
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	6378±143	4,20±0,11	267±8,4	3,22±0,05	205±4,9	2399***	-0,23	0,26***	178***
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	6346±184	3,89±0,09	228±14,3	3,12±0,03	183±11,7	2083***	0,00	0,43***	216***
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	6604±322	3,84±0,07	252±12	3±0,04	197±9	1307**	0,24*	0,67***	165***
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	7115±207	4,18±0,08	298±11,1	3,17±0,04	226±7,7	1348***	-0,32**	0,17**	84**
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	6567±255	4,36±0,10	283±8,4	3,35±0,06	218±6,8	1965***	-0,43**	0,17*	130***

* Разность достоверна при P≥0,95; ** – при P≥0,99; *** – при P≥0,999 / * The difference is significant when P≥0.95; ** – P≥0.99; *** – P≥0.999

Таблица 3 – **Коэффициенты корреляции и наследуемости признаков в парах «мать-дочь» /**
Table 3 – **Correlation and heritability coefficients of traits in mother-daughter pairs**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*n*	*Коэффициент корреляции / Correlation coefficient*			*Коэффициент наследуемости / Heritability coefficient*		
		удой / yield	*МДЖ / MFF*	*МДБ / MPF*	*удой / yield*	*МДЖ / MFF*	*МДБ / MPF*
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	0,17±0,142	0,48±0,126***	-0,001±0,144	0,160	0,283	0,060
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	0,24±0,159	0,08±0,164	0,17±0,162	0,089	0,079	0,097
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	-0,02±0,204	0,31±0,194	0,17±0,201	0,111	0,142	0,098
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	0,12±0,195	0,54±0,165**	0,50±0,170***	0,055	0,346	0,314
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	-0,24±0,250	-0,16±0,255	0,14±0,255	0,373	0,036	0,219
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	0,07±0,218	0,22±0,213	0,50±0,189*	0,106	0,097	0,351
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	0,62±0,191**	0,71±0,171***	0,77±0,154***	0,532	0,599	0,704

* Достоверно при P≥0,95; ** – P≥0,99; *** – P≥0,999

Таблица 4 – **Оценка племенной ценности быков методом BLUP (2003 г.) /**
Table 4 – **Breeding value of bulls using the BLUP evaluation method (2003)**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*Удой / Yield*	*МДЖ / MFF*	*Жир, кг / Fat, kg*	*МДБ / MPF*	*Белок, кг / Protein, kg*
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	791	-0,07	25,2	-0,04	22,5
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	522	0,03	23,9	0,02	18,6
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	455	-0,14	6,8	-0,05	10,7
Детур 73143748 / Detur 73143748	747	-0,11	20,3	-0,03	20,8
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	751	0,03	33,9	0,02	26,1
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	1389	0	55,2	-0,01	44,6
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	513	0,04	24,9	0,01	17,3

Результаты оценки быков по молочной продуктивности дочерей в сравнении со сверстницами (общее поголовье – дочери быков) представлены в таблицах 5–7.

Наибольшую положительную разность со сверстницами по удою наблюдали у дочерей быков Мадалион и Трейсер – 940 и 653 кг, или 12,0 и 8,29 % соответственно. У дочерей быков Карлин и Кабриолет отрицательная разность по молочной продуктивность со сверстницами (табл. 5).

Как показано в таблице 6, массовая доля жира в молоке у дочерей оцениваемых быков имеет небольшую разность по сравнению с массовой долей жира в молоке у их сверстниц. Наибольшая МДЖ в молоке – у дочерей быков Карлино и Кабриолет – 4,08 %, что выше, чем у сверстниц на 0,14 %, у дочерей быка Тэппс МДЖ ниже, чем у сверстниц на 0,1 %.

Таблица 5 – **Результаты оценки быков по удою их дочерей в сравнении со сверстницами за 1-ю лактацию /**
Table 5 – **Results of bulls evaluation by milk yield of their daughters in comparison with peers during the first lactation**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*Дочери / Daughters*		*Сверстницы / Peers*		*Разность, % / Difference, %*
	n	*удой, кг / yield, kg*	*n*	*удой, кг / yield, kg*	
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	8050±176	236	7895±89	1,96
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	7764±177	247	7947±87,8	-2,30
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	8777±235	260	7837±83	12,00
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	8429±281	258	7872±82	7,09
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	7911±307	269	7923±82	-0,15
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	8463±275	263	7875±83	7,47
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	8532±242	267	7879±83	8,29

Таблица 6 – **Результаты оценки быков по жирномолочности дочерей-первотелок /**
Table 6 – **Results of bulls evaluation for milk fat content of first-calf daughters**

Кличка и номер быка / Sire nickname and number	*Дочери / Daughters*		*Сверстницы / Peers*		*Разность, % / Difference, %*
	n	*МДЖ, % / MFF, %*	*n*	*МДЖ, % / MPF, %*	
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	3,96±0,04	236	3,96±0,02	0
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	4,08±0,04	247	3,94±0,02	0,14
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	3,97±0,07	260	3,96±0,02	0,01
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	3,90±0,06	258	3,96±0,02	-0,07
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	4,08±0,07	269	3,95±0,02	0,14
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	3,87±0,06	263	3,97±0,02	-0,10
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	3,93±0,08	267	3,96±0,02	-0,03

Из данных таблицы 7 видно превосходство дочерей быков Карлино и Кабриолет над сверстницами по содержанию молочного белка на 0,2 % (3,64 и 3,66 % соответственно), а у дочерей Тэппса этот показатель ниже, чем у сверстниц на 0,15 %.

Таким образом, установлены различия между группами животных не только разных линий, но и внутрилинейные – в линии Вис Бэк Айдиал. Это обусловлено генетически: сочетаемостью производителей, индивидуальными биологическими особенностями животных, что вполне естественно при межпородном скрещивании. Для повышения эффективности разведения молочных коров в условиях интенсивных технологий необходимо изучить эти особенности для управления селекционным процессом.

Таблица 7 – **Результаты оценки быков по массовой доле белка в молоке их дочерей /**
Table 7 – **Results of bulls evaluation by the mass fraction of protein in the milk of their daughters**

Кличка и номер быка/ Sire nickname and number	*Дочери / Daughters*		*Сверстницы / Peers*		*Разность, % / Difference, %*
	n	*МДБ, % / MFF, %*	*n*	*МДБ, % / MPF, %*	
Висконсин 3128824329 / Viskonsin 3128824329	50	3,52±0,02	236	3,46±0,02	0,06
Карлино 71906169 / Karlino 71906169	39	3,64±0,03	247	3,45±0,02	0,20
Мадалион 3125993713 / Madalion 3125993713	26	3,47±0,04	260	3,48±0,02	-0,01
Детур 73143748 / Detur 73143748	28	3,55±0,04	258	3,47±0,02	0,09
Кабриолет 69560690 / Kabriolet 69560690	17	3,66±0,05	269	3,46±0,01	0,20
Тэппс 3133735686 / Tepps 3133735686	23	3,34±0,04	263	3,49±0,01	-0,15
Трейсер 3125479393 / Trejser 3125479393	19	3,52±0,05	267	3,47±0,01	0,05

При переводе стада коров с привязного содержания на беспривязное, целесообразность проведения каких-либо изменений в условиях рыночной экономики в конечном итоге определяется их результативностью и конкретной выгодой. Как правило, они сопровождаются научно обоснованными программами с точными расчетами. Нами проведен анализ основных экономических показателей молочной продуктивности стада в переходный период с 2020 по 2023 год – из племзавода «Михайловское» в ООО «Агромир», отделение «Курба». Удой на фуражную корову в 2020 году на комплексе с привязным содержанием составил 7516 кг, 2021 году – 7469 кг, т. е. фактически на том же уровне. В 2022 году – на новом комплексе с беспривязным содержанием он составил 8179 кг (увеличение на 8,8 %). Это свидетельствует об успешности адаптации животных к новым средовым условиям производственного использования. Кроме того, по-видимому, оказывалось и наследственное влияние михайловского типа ярославской породы, устойчивой к стрессам.

Наряду с этим, на комплексе с беспривязным содержанием улучшили и кормление коров. Доля концентратов в 2023 году составляла 56 % питательности рациона, вместо 45–50 % ранее.

Значительно повысилась производительность труда, так как число операторов машинного доения уменьшилось с 18 до 5 человек. Затраты труда на 1 центнер молока снизились с 3,5 до 1,37 человеко-часа. Главный показатель – рентабельность производства молока – увеличился с 26–35 % в 2019-2020 г. до 55 % – в 2023 г. при беспривязном содержании коров. В 2024 г. в стаде наблюдали положительную тенденцию роста молочной продуктивности, т. е. ожидается повышение удоя на фуражную корову.

Полученные нами результаты исследований согласуются с общими биологическими закономерностями при разведении молочного скота и, следовательно, являются объективными и способствуют совершенствованию системы племенной работы на уровне современных требований, чтобы избежать экономических рисков и потерь.

В государственных и региональных программах поставлена задача создать отечественный генофонд высокопродуктивных животных за счет внутренних резервов, обеспечить импортозамещение и продовольственную безопасность страны (Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 № 996 (ред. от 30.09.2023) "Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы"; подпрограмма "Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород"; государственной программы Ярославской области "Развитие сельского хозяйства в Ярославской области" на 2024–2030 годы). Такая работа уже ведется в ряде племенных хозяйств по молочному скотоводству Ярославской области.

Выводы. 1. В условиях беспривязного содержания дочери голштинских быков превосходили по первой лактации матерей михайловского типа по удою от 19,0 до 37,6 % (от 1348 до 2399 кг), но достоверно уступали им по жирномолочности от -0,1 до -0,43 %, а содержание белка в молоке имели несколько выше, чем у матерей от 0,17 до 0,66 %. Суммарный выход молочного жира и белка наивысший у дочерей быков Мадалион – 38 % и Детур – 41,1 % (178 и 216 кг) по сравнению с матерями.

2. Корреляция и наследуемость признаков продуктивности в парах «мать-дочь» различается у разных быков – от невысокой отрицательной до высокой положительной, наивысшая – у дочерей быка Трейсер.

3. Установлено, что лучшие показатели молочной продуктивности имеют дочери быков Мадалион, Трейсер линии Вис Бэк Айдиал и Детур линии Рефлекшн Соверинг, а наименьшие – дочери быка Карлино.

4. При переводе стада с привязного содержания на беспривязное отмечается увеличение удоя на фуражную корову на 8,8 %, это может быть связанно с изменением условий содержания и кормления.

5. Рентабельность производства молока увеличилась до 55 % при сравнении с привязным содержанием стада.

Предложения производству: для повышения генетического потенциала стада по молочной продуктивности на перспективу целесообразно использовать лучших быков в повторном подборе или их сыновей, учитывая хорошую сочетаемость с животными стада, и для консолидации этих признаков в потомстве.

Список литературы

1. Тамарова Р. В. Тенденции развития молочного скотоводства в Ярославской области в условиях рыночной экономики. Вестник АПК Верхневолжья. 2023;(1):42–53.
DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.61.1.005 EDN: VNPWDM

2. Косяченко Н. М., Абрамрова М. В., Ильина А. В., Зырянова С. В., Коновалов А. В., Косоурова Т. Н. Голштинская порода в создании улучшенных генотипов и внутрипородных типов крупного рогатого скота. Ярославль: ООО "Канцлер", 2020. 157 с.

3. Тамарова Р. В. Создание нового типа Ярославского скота «Михайловский» методом воспроизводительного скрещивания использованием генофонда голштинской породы: монография. Ярославль: Изд-во ФГОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2002. 186 с.

4. Фураева Н. С., Зверева Е. А. Результаты селекционно-племенной работы в хозяйствах Ярославской области за 2019 год. Вестник АПК Верхневолжья. 2020;(3(51)):30–46.
DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.51.3.004 EDN: MQIDOC

5. Шелехова А. А., Чеченихина О. С. Методы и формы повышения генетического потенциала продуктивных качеств скота. Молодежь и наука. 2023;(2):29. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=53951822 EDN: HZKYNA

6. Djedović R., Vukasinovic N., Stanojević D., Bogdanović V., Ismael H., Janković D., et al. Genetic Parameters for Functional Longevity, Type Traits, and Production in the Serbian Holstein. Animals (Basel). 2023;13(3):534. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13030534

7. Janković D., Marković B., Djedović R., Trivunović S., Šaran M. Genetic parameters of the type traits of Holstein-Friesian primiparous dairy cows. Genetika. 2021;53(2):533–544.
DOI: https://doi.org/10.2298/GENSR2102533J

8. Попов Н. А. Совершенствование признаков молочности в хозяйствах и племенная ценность быков-производителей при оценке по качеству потомства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):674–682. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.674-682 EDN: SIUJBI

9. Алтухова Н. С., Янчуков И. Н., Савинов А. В., Иванов Ю. А. Взаимосвязь между оценкой племенной ценности быков-производителей палево-пестрой популяции скота на разном уровне управления селекцией. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):82–89.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.82-89 EDN: SQCEHK

10. Отраднов П. И., Сермягин А. А. Оценка быков-производителей по качеству потомства в стадах с разным уровнем продуктивности для выявления взаимодействия генотипа со средой. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(11):56–61. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_11_56 EDN: BRWZKU

11. Буканов А. Л., Борисова В. В. Использование информационных технологий при оценке быков-производителей по качеству потомства. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015;(1(51)):102–104. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=23050779 EDN: TKKXWF

12. Хуранов А. М., Бисчоков Р. М., Гукежев В. М., Айсанов З. М., Темирдашева К. А. Биометрическая обработка данных по молочной продуктивности и воспроизводительным качествам крупного рогатого скота: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2024667076 Российская Федерация. № 2024666192; заявл. 12.07.2024; опубл. 19.07.2024. Бюл. №7.

References

1. Tamarova R. V. Trends in the development of dairy cattle breeding in the Yaroslavl region under free market conditions. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2023;(1):42–53. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.61.1.005

2. Kosyachenko N. M., Abramrova M. V., Ilina A. V., Zyryanova S. V., Konovalov A. V., Kosourova T. N. The Holstein breed in the creation of improved genotypes and inbreed types of cattle. Yaroslavl: *OOO "Kantsler"*, 2020. 157 p.

3. Tamarova R. V. Creation of a new type of Yaroslavl cattle "Mikhailovsky" by the method of reproductive crossing using the gene pool of the Holstein breed: monograph. Yaroslavl': *Izd-vo FGOU VPO «Yaroslavskaya GSKhA»*, 2002. 186 p.

4. Furaeva N. S., Zvereva E. A. Results of selection and breeding work in the farms of the Yaroslavl region in 2019. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2020;(3(51)):30–46. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.51.3.004

5. Shelekhova A. A., Chechenikhina O. S. Methods and forms of increasing the genetic potential of productive qualities of livestock. Molodezh' i nauka. 2023;(2):29. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=53951822

6. Djedović R., Vukasinovic N., Stanojević D., Bogdanović V., Ismael H., Janković D., et al. Genetic Parameters for Functional Longevity, Type Traits, and Production in the Serbian Holstein. Animals (Basel). 2023;13(3):534. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13030534

7. Janković D., Marković B., Djedović R., Trivunović S., Šaran M. Genetic parameters of the type traits of Holstein-Friesian primiparous dairy cows. Genetika. 2021;53(2):533–544. DOI: https://doi.org/10.2298/GENSR2102533J

8. Popov N. A. Improvement of dairy characters in farms and breeding value of the breeding bulls when assessing the quality of offspring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):674–682. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.674-682

9. Altukhova N. S., Yanchukov I. N., Savinov A. V., Ivanov Yu. A. Relationship between evaluations of sires in pale-motley cattle population at different levels of management. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(1):82-89. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.82-89

10. Otradnov P. I., Sermyagin A. A. Genotype by environment interactions detection in sires' breeding value estimates obtained in different productivity herds. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(11):56–61. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_11_56

11. Bukanov A. L., Borisova V. V. Use of information technologies to assess sires by their offspring. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;(1(51)):102–104. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23050779

12. Khuranov A. M., Bischokov R. M., Gukezhev V. M., Aysanov Z. M., Temirdasheva K. A. Biometric data processing on dairy productivity and reproductive qualities of cattle: certificate of state registration of the computer program: No. 2024667076 Russian Federation. 2024.

Сведения о авторах

Тамарова Раиса Васильевна, доктор с.-х. наук, профессор, профессор кафедры зоотехнии, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет», Тутаевское шоссе, 58, г. Ярославль, Российская Федерация, 150042, e-mail: info@yarcx.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0000-6811**

✉ **Ухов Егор Ильич**, аспирант кафедры зоотехнии, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет», Тутаевское шоссе, 58, г. Ярославль, Российская Федерация, 150042, e-mail: info@yarcx.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7835-9427,** e-mail: 7906@student.yarcx.ru

Information about the authors

Raisa V. Tamarova, DSc in Agricultural Science, professor, professor at the Department of Animal Science, Yaroslavl State Agrarian University, Tutaevskoe Shosse, 58, Yaroslavl, Russian Federation, 150042, e-mail: info@yarcx.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0000-6811**

✉ **Egor I. Ukhov**, postgraduate student, the Department of Animal Science, Yaroslavl State Agrarian University, Tutaevskoe Shosse, 58, Yaroslavl, Russian Federation, 150042, e-mail: info@yarcx.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7835-9427, e-mail: 7906@student.yarcx.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.379–387
УДК 636.32/.38:636.084:636.087.3+612.32:504.3

Метаболизм и газообразование в рубце овец при использовании в питании различных источников жира

© 2025. Н. В. Боголюбова✉, В. А. Девяткин, Р. В. Некрасов
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Цель работы – исследование влияния различных источников жира в питании овец на показатели рубцового пищеварения, выделение метана и углекислого газа методом in vivo. Эксперимент проведен в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в 2024 году на баранах романовской породы и помесях с катадином с хроническими фистулами рубца методом групп-периодов. Животные в контрольный период получали основной рацион (ОР – сено и концентраты), в I опытный – ОР + пальмовое масло, во II опытный – ОР + подсолнечное масло, в III опытный – жир личинок мухи Hermetia illucens в дозировке 0,5 % от сухого вещества рациона (7,5 г в сутки). Суточное количество кормов животные получали в два приема. В конце каждого периода у всех животных исследовали показатели рубцового метаболизма в динамике, выделение газов in vivo. Дополнение различных источников жира в указанной дозировке не оказало отрицательного влияния на потребление основных кормов. Использование в питании овец жира личинок мухи способствовало повышению концентрации летучих жирных кислот на 29,0 % (p<0,01), снижению уровня аммонийного азота на 12,9 %. Использование пальмового и подсолнечного масла привело к снижению в рубце концентрации аммонийного азота по сравнению с контролем на 28,7 % (p<0,05) и 29,5 % (p<0,05) соответственно. В контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – меньше на 12,0 % (18,18 л), во II опытный – на 6,20 % (19,38 л), в III опытный – на 20,33 % (16,46 л) (p<0,01). Использование дополнительных источников жира в кормлении жвачных животных может быть эффективным способом снижения выделения парниковых газов.

Ключевые слова: *метан, углекислый газ, рубцовое пищеварение, рацион*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 124020200032-4).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Боголюбова Н. В., Девяткин В. А., Некрасов Р. В. Метаболизм и газообразование в рубце овец при использовании в питании различных источников жира. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):379–387. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.379-387

Поступила: 05.02.2025 Принята к публикации: 28.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Rumen metabolism and gas formation in sheep fed different fat sources

© 2025. Nadezhda V. Bogolyubov✉ , Vladimir A. Devyatkin, Roman V. Nekrasov
Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

The aim of the work was to study the effect of various fat sources in sheep nutrition on the indices of rumen digestion and the release of methane and carbon dioxide using the in vivo method. The experiment was conducted in the physiological yard of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry in 2024 on Romanov rams and crossbreeds with Katadin with chronic rumen fistulas using the group-period method. During the control period, animals received the main diet (hay and concentrates), in the I experimental period – in addition to it, palm oil, in the II experimental – sunflower oil, in the III experimental – fat from the larvae of the Hermetia illucens fly at a dosage of 0.5 % of the DM (dry matter) of the diet (7.5 g per day). Animals received the daily amount of feed in 2 doses. At the end of each period, all animals were examined for rumen metabolism dynamics and gas emission in vivo. Supplementation of various fat sources in the specified dosage did not have a negative effect on the consumption of basic feed. The use of fly larvae fat in sheep diet contributed to an increase in the concentration of VFA (volatile fatty acids) by 29 % (p<0.01), a decrease in the level of ammonia nitrogen by 12.91 %. The use of palm and vegetable fats led to a decrease in the concentration of ammonia nitrogen in the rumen by 28.7 % (p<0.05) and 29.5 % (p<0.05) compared to the control, respectively. During the control period, 20.66 l of methane were excreted from the sheep's body, in the I experimental period it was 12.0 % less (18.18 l), in the II experimental period – 6.20 % less (19.38 l), in the III experimental period – 20.33 % less (16.46 l) (p<0.01). Using additional fat sources in ruminant feed may be an effective way to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: *methane, carbon dioxide, rumen digestion, diet*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (registration number of the EGISU research topic 124020200032-4).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Bogolyubova N. V., Devyatkin V. A., Nekrasov R. V. Rumen metabolism and gas formation in sheep fed different fat sources. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):379–387. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.379-387

Received: 05.02.2025 Accepted for publication: 28.03.2025 Published online: 29.04.2025

Парниковые газы (ПГ) – углекислый газ, метан и закись азота являются тремя наиболее значительными парниковыми газами, которые поглощают солнечное тепло и нагревают атмосферу, что имеет серьезные экологические последствия для окружающей среды [1]. Метан является вторым по значимости ПГ после углекислого газа. Кроме того, метан имеет в 28 раз больший потенциал глобального потепления (ПГП), чем углекислый газ за 100-летний период. Процесс ферментации в организме жвачных животных, производство риса и отходы животноводства являются основными источниками метана, обеспечивая около 40 % выбросов метана в сельском хозяйстве [2].

Кроме вклада в глобальное потепление, метан приводит к потере энергии у жвачных животных [3, 4]. Так, в зависимости от рациона организм жвачных затрачивает на образование метана до 15 % энергии, лошади – до 5 %, свиньи – до 2 % и птица – до 0,3 % [5, 6]. Отмечено, что более высокопродуктивные животные выделяют метана на единицу продукции меньше, чем низкопродуктивные. Разработка способов регуляции и снижения выработки метана жвачными животными не только существенно смягчит негативный экологический эффект от парниковых газов, но и сократит потери энергии, поступающей с пищей.

Имеется несколько подходов к сокращению образования метана у жвачных животных [7]. Было проведено статистическое исследование 430 рецензированных мировых изданий, в которых выделены 98 способов снижения выделения метана у жвачных животных [8]. Авторы установили, что все эти способы можно разделить на 3 группы: управление животными (генетика) и рационами; управление качеством кормов; управление рубцовым пищеварением. Увеличение уровня кормления, повышение качества объемистых кормов и снижение соотношения объемистых кормов к концентратам в рационе уменьшили выделение метана на единицу продукции в среднем на 12 %, увеличив при этом продуктивность скота в среднем на 17 %. Использование в питании животных ингибиторов метана, дубильных веществ, поглотителей электронов, масел, жиров способствовало снижению абсолютных выбросов метана в среднем на 21 % [8].

Таким образом, кормовые добавки представляют собой ценный инструмент для более быстрого достижения целей по смягчению последствий. Было протестировано множество кормовых добавок, сообщается о сокращении выбросов метана с их применением [7, 9], включая лекарственные растения [10], масла [11], водоросли [12] сапонины и танины [13, 14], пробиотические препараты [15]. Многие из указанных добавок описаны в обзоре [16].

Появились данные, что влиять на метаногенез может изменение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) рубца. Например, в исследовании *in vitro*, авторы показали, что повышение ОВП в рубцовой жидкости с помощью различных добавок, содержащих перекись водорода и не только, отмечено снижение метаногенеза не менее чем на 50 % [17].

Скармливание жиров традиционно используется для повышения энергетической ценности рациона высокопродуктивных жвачных животных. Использование кормовых жиров в целях снижения метаногенеза в организме жвачных изучалось на протяжении десятилетий [18, 19, 20, 21].

Добавление жиров в рацион не представляет риска для безопасности животных или человека, они широко доступны, имеют естественное происхождение в отличие от химических соединений, являются источником энергии, положительно влияют на жирнокислотный профиль мяса и молока [22], способствуют усилению вкусовых качеств корма. Впервые влияние среднецепочечных жирных кислот (СЦЖК) на снижение выбросов метана в пищеварительном тракте жвачных было отмечено К. Л. Блэкстер и Дж. Черкавски (K. L. Blaxter, J. Czerkawski) в 1966 году [18]. Источник жира оказывает большое влияние на эффективность выделения метана [23].

Считается, что механизм влияния жиров на метаногенез в организме жвачных заключается либо в проявлении жизнедеятельности некоторых метаногенов и простейших, либо в снижении переваримости кормов рациона за счет обволакивания частиц корма или в конкуренции за водород.

В последнее время интерес исследователей вызывает использование жира насекомых в питании животных [24], в том числе и для снижения метаногенеза [25, 26].

В исследовании А. Джаянегара с соавт. (A. Jayanegara et al.) [27] сделан вывод о том, что масла насекомых могут служить практической альтернативой соевому маслу, в первую очередь потому, что они не препятствуют ферментации рубца и могут снизить выбросы кишечного метана при добавлении в рационы, богатые концентратами. В исследовании *in vivo* установлено, что добавление масла личинок черной солдатской мухи и варьирование соотношения грубых кормов к концентратам увеличивает содержание пропионата и снижает выделение метана [25].

В работе при скармливании бычкам 1 %, 2 и 4 % от сухого вещества (СВ) рациона масла личинок черной солдатской мухи установлено, что включение 2 % в рацион питания привело к улучшению усвояемости и повышению концентрации пропионовой кислоты, а также к сокращению популяции простейших и метана. Линейное снижение содержания простейших наблюдали при повышении дозировки масла [28].

Исследования по влиянию жира насекомых немногочисленны и в основном проведены в условиях *in vitro*, сравнительного изучения различных жиров в таком аспекте не проводилось.

Цель работы – определение влияния различных источников жира в питании овец на показатели рубцового пищеварения, выделение метана и углекислого газа методом *in vivo*.

Научная новизна – проведение сравнительного изучения влияния жира различного происхождения, включаемого в сено-концентратный рацион овец, на процессы рубцового пищеварения и газообразования *in vivo*.

Материал и методы. Для установления дозировки включения жира в рацион овец были изучены источники литературы современных ученых и сделан вывод, что эффективность воздействия жирных кислот на процессы рубцового метаболизма и метаногенез зависит от насыщенности, длины цепи кислоты, дозировки ее включения в рацион, продолжительности скармливания [29, 30, 31]. В отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста была проведена серия экспериментов *in vitro* и установлено, что дозировка 0,5 % жира от СВ рациона в наибольшей степени способствовала снижению образования метана в образцах рубцовой жидкости. На физиологическом дворе ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста на баранах романовской породы и помесях с катадином в возрасте 3 лет (средняя живая масса 50 кг) с хроническими фистулами рубца по Басову методом групп-периодов были проведены исследования (n = 4). Схема представлена в таблице 1.

Таблица 1 – **Схема физиологических исследований *in vivo (n = 4)* /**
Table 1 – **Scheme of physiological studies *in vivo (n = 4)***

Период / Period	*Продолжительность периода, дни / Duration of the period, days*	*Характеристика кормления / Feeding characteristics*
Контрольный	31	Основной рацион (ОР) – сено злаково-разнотравное + концентраты ОК-80 / Basic diet (BD) – grass-grain hay + OK-80 concentrates
I	31	ОР + Добавка пальмового масла 0,5 % от сухого вещества (СВ) рациона / BD + Palm oil supplement 0.5 % of the dry matter (DM) of the diet
II	31	ОР + Добавка подсолнечного масла 0,5 % от СВ рациона / BD + Sunflower oil supplement 0.5 % of the diet's dry matter
III	31	ОР+ Добавка жира личинок мухи *Hermetia illucens* 0,5 % от СВ рациона / BD + Addition of fat from larvae of the fly Hermetia illucens 0.5 % of the dry matter of the diet

Животные в контрольный период получали основной рацион (ОР), в I опытный – ОР + пальмовое масло, во II опытный – ОР + подсолнечное масло, в III опытный – ОР + жир личинок мухи *Hermetia illucens* в дозировке 0,5 % от СВ рациона, что составило 7,5 г

в сутки. Суточное количество кормов животные получали в 2 приема – утром и вечером. Продолжительность каждого периода эксперимента состояла – 21 день предварительного (для адаптации микрофлоры к рациону питания), 3 дня учетного (для отбора проб рубцового содержимого и изучения газообразования) и 7 дней уравнительного (для адаптации микрофлоры к проведению следующего периода, в это время бараны получали только основной рацион) периодов, итого 31 день. На 22-й день у всех животных взяты пробы рубцового содержимого в динамике (до кормления и через 3 часа после начала кормления), в которых определяли: pH, общее количество летучих жирных кислот (ЛЖК) – методом паровой дистилляции в аппарате Маркгама; аммиачный азот – микродиффузным методом по Конвею; амилолитическая активность – фотометрическим методом; биомасса простейших и бактерий – методом дифференцированного центрифугирования.

В конце каждого учетного периода животных на 2 суток помещали в респираторную метаболическую камеру открытого типа для изучения выделения газов.

Для реализации исследований использовали 3 источника жира, различающихся по степени насыщенности и доступности в рубце: пальмовое масло (растительного происхождения, импортный продукт); подсолнечное масло (растительного происхождения, отечественный продукт); жир личинок мухи *Hermetia illucens* (животного происхождения, отечественный продукт). Пальмовое и подсолнечное масла являются источниками ненасыщенных жирных кислот, жир личинок мухи *Hermetia illucens* – источником в основном насыщенных жирных кислот, в частности лауриновой кислоты.

Математическую и статистическую обработки результатов проводили с применением программных пакетов Microsoft Office Excel 2003, STATISTICA 10 (Statistica 13RU, StatSoft, США) с использованием методов описательной статистики, однофакторного дисперсионного анализа (MANOVA). Данные были проверены на нормальность распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Рассчитывались средние значения (M), стандартные ошибки средних (±SEM), t-критерий Стьюдента. Отличия являлись статистически достоверными при $p<0,05$, высокодостоверными – при $p<0,01$; $p<0,001$.

Результаты и их обсуждение. В качестве основного рациона овцы получали сено злаково-разнотравное 1,5 кг и концентраты 0,4 кг. Ежедневный учет поедаемости кормов позволил установить, что концентраты животными поедались без остатков в отличие от грубых кормов (сена), в результате определено количество фактически потребленных питательных веществ животными (табл. 2).

Таблица 2 – **Питательность рациона овец по фактически потребленным кормам (данные только по питательности рациона), г /**
Table 2 – **Composition and nutrition of sheep diets consumed (the data is only on the nutritional value of the diet), g**

Питательность рациона / Nutritional value of the diet	*Период / Period*			
	контрольный	*I*	*II*	*III*
Сухое вещество / Dry matter	1191,4	1129,4	1243,0	1258,0
Органическое вещество / Organic matter	1035,7	1119	1141,4	1152,2
Сырой протеин / Crude protein	139,1	156,9	147,8	145,1
Сырой жир / Crude fat	28,42	36,6	45,4	44,7
Сырая клетчатка / Crude fiber	249,2	258,7	243,8	292,6
БЭВ / NFS	654,5	678,1	703,8	654,0

Данные таблицы 2 позволяют заключить, что количество потребленных питательных веществ незначительно различалось между периодами опыта и было примерно на одном уровне. Это указывает на тот факт, что добавление в рацион жира различного происхождения в дозе 0,5 % от СВ рациона не оказывает негативного влияния на потребление грубых кормов и не угнетает пищеварительную деятельность.

Для установления влияния разных источников жира на процессы пищеварения в рубце мы изучили некоторые характеристики ферментативных и микробиальных процессов в динамике (табл. 3, 4, 5). Измерение pH имеет

решающее значение, поскольку дает ценную информацию о внутреннем равновесии среды. Так, показатели кислотности среды рубца как до кормления, так и через 3 часа после его начала имели тенденцию к снижению у овец, получавших дополнительно жиры различного происхождения. С этими тенденциями взаимосвязано некоторое повышение концентрации ЛЖК у овец, получавших добавки жира. Достоверное повышение наблюдали до приема корма у овец, получавших жир личинок мухи *Hermetia illucens*. Так, концентрация ЛЖК в III опытном периоде составила 10,08 мМ/100 мл, что на 29 % выше, чем в контрольном при p<0,01 (табл. 3).

Таблица 3 – **Динамика показателей рубцового метаболизма (n = 4) /**
Table 3 – **Dynamics of rumen metabolism indicators (n = 4)**

Период / Period	*Время отбора проб / Sampling time*	
	до кормления / before feeding	*через 3 часа после кормления / 3 hours after feeding*
pH в рубцовом содержимом / pH in rumen contents		
Контрольный	6,49±0,07	6,08±0,03
I	6,39±0,24	5,85±0,14
II	6,56±0,14	5,94±0,06
III	6,39±0,22	5,89±0,09
ЛЖК в рубцовой жидкости (Ммоль/100 мл) / VFA in rumen fluid (mmol/100ml)		
Контрольный	7,80±0,35	10,72±0,96
I	9,46±0,27	12,59±1,58
II	8,46±0,37	11,89±0,95
III	10,08±0,46**	12,60±0,36
Аммиак в рубцовой жидкости (мг%) / Ammonia in rumen fluid (mg%)		
Контрольный	15,88±0,30	21,49±1,20
I	11,33±0,54*	17,99±1,55
II	11,19±1,64*	18,33±1,87
III	13,83±1,74	18,60±1,59
Амилолитическая активность после кормления (Е/мл) / Amylolytic activity after feeding (U/ml)		
Контрольный	17,40±0,65	
I	19,10±0,29	
II	17,52±0,64	
III	19,32±0,29*	

*Достоверно по сравнению с контролем при p <0,05; ** при p<0,01 /
*Statistically significant compared to the control at p<0.05; ** at p<0.01

Обратную тенденцию наблюдали в отношении концентрации аммонийного азота. Этот показатель в рубце овец, получавших добавки жира различного происхождения, снижался как до, так и после кормления по сравнению с контролем. До приема корма в контрольный период концентрация аммонийного азота составила 15,88 мг%, в I опытный – 11,33 мг%, или на 28,7 % ниже (p<0,05). Разница между контрольным и II опытным периодом составила 29,5 % (p<0,05), между контрольным и III опытным – 12,91 %.

Другие исследователи также наблюдали снижение уровня аммиака и выделения метана в эксперименте *in vitro* при инкубации полножирных кормов из личинок насекомых [26]. Г. Эрвас с соавт. (G. Hervás et al.) показали, что добавление в рацион жвачных животных масла

солдатской мухи не оказывает негативного влияния на образование аммиака у овец [32]. По данным А. Джаянегара с соавт. (A. Jayanegara et al.), которые также исследовали кормление маслом насекомых и его влияние на ферментацию бычьего рубца *in vitro*, образование аммиака осталось без изменений [27]. При добавлении в основной рацион овцам пальмового масла и жира личинок мухи наблюдали повышение амилолитической активности на 9,8 и 11,0 % соответственно (p<0,05).

Анализ микробиальных процессов показал, что при использовании в питании овец жира различного происхождения выявлена тенденция к снижению количества инфузорий, особенно выраженная после кормления. Что касается массы сухого вещества бактерий, то при одинаковом уровне этого показателя во все периоды эксперимента до приема корма, через 3 часа после кормления у овец, получавших пальмовое масло и жир личинок *Hermetia illucens*, был выше по сравнению с контролем. Разница между контрольным и I опытным периодом составила 21,4 %, а между контрольным и III опытным – 39,0 % (p<0,05) (табл. 4).

Таблица 4 – **Содержание микробиальной массы в рубцовом содержимом (n = 4) /**
Table 4 – **Content of microbial mass in ruminal contents (n = 4)**

Период / Period	*В 100 мл рубцового содержимого, г / In 100 ml of ruminal contents, g*					
	до кормления / before feeding			*через 3 часа после кормления / 3 hours after feeding*		
	инфузории / protozoa	*бактерии / bacteria*	*всего / sum*	*инфузории / protozoa*	*бактерии / bacteria*	*всего / sum*
Контрольный	0,435±0,04	0,322±0,03	0,757±0,07	0,617±0,09	0,295±0,02	0,912±0,10
I	0,403±0,04	0,305±0,03	0,708±0,07	0,535±0,12	0,358±0,04	0,893±0,03
II	0,400±0,10	0,278±0,04	0,678±0,14	0,460±0,10	0,295±0,03	0,755±0,10
III	0,350±0,010	0,325±0,04	0,675±0,04	0,563±0,06	0,410±0,03*	0,973±0,04

*Различия по сравнению с контролем статистически достоверны при p <0,05 /
* Differences are statistically significant compared to the control at p<0.05

В таблице 5 представлены данные по выделению парниковых газов от овец, определенных *in vivo,* которые получены по фактическому выделению метана и углекислого газа, подсчитано количество выделенных газов на кг потребленного СВ рациона. Из данных таблицы 5 можно сделать вывод о том, что дополнительное включение в сено-концентратный рацион овец 0,5 % жиров растительного (пальмовое и растительное масло) и животного (жир личинок мухи *Hermetia illucens*) происхождения вызывает некоторое снижение выделения метана. Так, в контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – 18,18 л, во II опытный – 19,38 л, в III опытный – 16,46 л. Максимальную разницу с контролем наблюдали при добавлении в рацион овец жира насекомых (20,33 % при p<0,01). Обратная тенденция отмечена в выделении углекислого газа.

Таблица 5 – **Выделение парниковых газов от животных (n = 4) /**
Table 5 – **Greenhouse gas emissions from animals (n = 4)**

Период / *Period*	За сутки, л / *Per day, l*		На 1 кг ПСВ, л / Per 1 kg DMC, l	
	метан / methane	углекислый газ / carbon dioxide	метан / methane	углекислый газ / carbon dioxide
Контрольный	20,66±1,25	319,06±29,21	17,34	267,80
I	18,18±0,72	390,87±48,63	16,10	346,09
II	19,38±0,46	404,40±7,54	15,59	325,30
III	16,46±0,44**	342,51±34,58	13,08	272,27

Примечания: ПСВ – потребленное сухое вещество. ** Различия по сравнению с контролем статистически достоверны при p<0,01) /
Notes: CDM – consumed dry matter. **Differences are statistically significant compared to the control at p<0.01

Как абсолютное выделение метана, так и его количество на 1 кг потребленного сухого вещества рациона было несколько ниже в опытные периоды эксперимента – в контрольный выделилось 17,34 л, в I опытный – 16,10 л, во II опытный – 15,59 л, а в III опытный – 13,08 л.

Эти данные согласуются с результатами, полученными другими авторами. Так, исследователи отмечали, что жирные кислоты со средней длиной цепи обладают определенной токсичностью по отношению к целлюлозолитическим микроорганизмам, что способствует ферментации пропионата в рубце и ингибирует выбросы метана [33].

С. Грейнджер и К. Бошемин (C. Grainger и K. Beauchemin) [34] также сообщили, что добавление жира часто снижает ферментацию углеводов из-за его токсического воздействия на целлюлозолитические бактерии и простейшие, в то время как ферментация крахмала остается неизменной. В эксперименте на коровах голштино-фризской породы, которые выпасались на пастбище, скармливалось дополнительно 4 кг концентратов, содержащих либо стеариновую кислоту (насыщенная), льняное масло (источник ненасыщенных ЖК) или соевое масло (источник ненасыщенных ЖК). Выбросы метана (245 против 293, 289 г/сут, 12,4 против 15,7, 14,8 г/кг молока и 165 против 207, 195 г/кг сухого вещества молока) были ниже у коров, получавших льняное масло, чем у животных, которым давали другие источники липидов. Численность *Methanobrevibacter ruminantium* была снижена у коров, получавших льняное масло по сравнению со стеариновой кислотой [35].

Заключение. Таким образом, в эксперименте *in vivo* использование в кормлении фистульных овец в дополнение к основному рациону пальмового, подсолнечного масел и жира личинок мухи *Hermetia illucens* в дозировке 0,5 % от СВ не оказало отрицательного влияния на потребление основных кормов рациона. Использование в питании овец инсектожира способствовало большему сдвигу в ферментативных процессах по сравнению с контролем, что проявлялось в повышении концентрации ЛЖК на 29 % ($p<0,01$), снижении уровня аммонийного азота на 12,91 %. Использование пальмового и подсолнечного масел приводило к снижению в рубце концентрации аммонийного азота на 28,7 % ($p<0,05$) и 29,5 % ($p<0,05$) соответственно по сравнению с контролем. Использование в рационах овец 0,5 % жира разного происхождения способствовало снижению выделения метана. В контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – на 12,00 % меньше (18,18 л), во II опытный – на 6,20 % меньше (19,38 л), в III опытный – на 20,33 % меньше (16,46 л) ($p\leq0,01$). Это было взаимосвязано со снижением количества простейших, особенно выраженным после кормления. При этом масса сухого вещества бактерий через 3 часа после кормления в рубце овец, получавших пальмовое масло и жир личинок, была выше по сравнению с контролем на 21,4 и 39,0 % (при $p<0,05$) соответственно. Таким образом, использование дополнительных источников жира в кормлении жвачных животных может быть эффективным способом снижения выделения парниковых газов. При этом важно учитывать дозировку жира, исключая негативное влияние на рубцовое пищеварение и поддерживая оптимальный уровень переваримости питательных веществ.

References

1. Calabrò P. S. Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection. Waste Managment. 2009;29(7):2178–2187. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.011

2. Patra A. K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: A synthesis of current research and future directions. Environmental Monitoring and Assessment. 2012;184:1929–1952. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-011-2090-y

3. Palangi V., Macit M. Indictable mitigation of methane emission using some organic acids as additives towards a cleaner ecosystem. Waste and Biomass Valorization. 2021;12:4825–4834. DOI: https://doi.org/10.1007/s12649-021-01347-8

4. Palangi V., Lackner M. Management of enteric methane emissions in ruminants using feed additives: A review. Animals. 2022;12(24):3452. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12243452

5. Гриднева Т. Т. Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012;(4(8)):61–69.

Gridneva T. T. Emission of harmful gases livestock product. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2012;(4(8)):61–69. (In Russ.).

6. Hristov A. N., Firkins J., Oh. J., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., et al. Special topics–Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. Journal of Animal Science. 2013;91(11):5045–5069. DOI: https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583

7. Palangi V., Taghizadeh A., Abachi S., Lackner M. Strategies to mitigate enteric methane emissions in ruminants: A review. Sustainability. 2022;14(20):13229. DOI: https://doi.org/10.3390/su142013229

8. Arndt C., Hristov A. N., Price W. J., McClelland S. C., Pelaez A. M., Cueva S. F., et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 C target by 2030 but not 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2022;119(20):e2111294119. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119

9. Sun J., Zhao G., Li M. M. Using nutritional strategies to mitigate ruminal methane emissions from ruminants. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2023;10(3):390–402. DOI: https://doi.org/10.15302/j-fase-2023504

10. Lambo M. T., Ma H., Liu R., Dai B., Zhang Y., Li Y. Mechanism, effectiveness, and the prospects of medicinal plants and their bioactive compounds in lowering ruminants' enteric methane emission. Animal. 2024;18(4):101134. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101134

11. Palmquist D. L., Jenkins T. C. A 100-year review: Fat feeding of dairy cows. Journal of Dairy Science. 2017;100(12):10061–10077. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-12924

12. Roque B. M., Venegas M., Kinley R. D., de Nys R., Duarte T. L., Yang X., Kebreab E. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. PLoS ONE. 2021;16(3):e0247820. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820

13. Ramos-Morales E., de la Fuente G., Duval S., Wehrli C., Bouillon M., Lahmann M., et al. Antiprotozoal effect of saponins in the rumen can be enhanced by chemical modifications in their structure. Frontiers of Microbiology. 2017;8:399. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00399

14. Vasta V., Daghio M., Cappucci A., Buccioni A., Serra A., Viti C., Mele M. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. Journal of Dairy Science. 2019;102(5):3781–3804. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985

15. Jia P., Dong L. F., Tu Y., Diao Q. Y. Bacillus subtilis and Macleaya cordata extract regulate the rumen microbiota associated with enteric methane emission in dairy cows. Microbiome. 2023;11(1):229. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-023-01654-3

16. Króliczewska B., Pecka-Kiełb E., Bujok J. Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: Controversies and issues. Agriculture. 2023;13(3):602. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13030602

17. Graham A., Thorn C., McDonagh M., O'Donnell C., Nolan S., Kirwan S. F., et al. Development and *in vitro* assessment of novel oxygen-releasing feed additives to reduce enteric ruminant methane emissions. Science of the total environment. 2025;963:177598. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177598

18. Blaxter K. L., Czerkawski J. Modification of the methane production of the sheep by supplementation of ITS diet. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1966;17(9):417–421. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.2740170907

19. Patra A. K. A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. Livestock Science. 2014;162:97–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007

20. Toprak N. N. Do fats reduce methane emission by ruminants? – A review. Animal Science Papers and Reports. 2015;33(4):305–321. URL: https://www.researchgate.net/publication/284803844_Do_fats_reduce_methane_emission_by_ruminants_-_A_review

21. Szczechowiak J., Szkudelska K., Szumacher-Strabel M., Sadkowski S., Gwozdz K., El-Sherbiny M., et al. Blood hormones, metabolic parameters and fatty acid proportion in dairy cows fed condensed tannins and oils blend. Annals of Animal Science. 2018;18(1):155–166. DOI: https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0039

22. Vargas J. E., Andrés S., López-Ferreras L., Snelling T. J., Yáñez-Ruíz D. R., García-Estrada C., Lópezet S. Dietary Supplemental Plant Oils Reduce Methanogenesis From Anaerobic Microbial Fermentation in the Rumen. Scientific Reports. 2020;10:1613. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-58401-z

23. Yanza Y., Szumacher-Strabel R. M., Jayanegara A., Kasenta A. M., Gao M., Huang H., et al. The effects of dietary medium-chain fatty acids on ruminal methanogenesis and fermentation in vitro and in vivo: A meta-analysis. Journal of animal physiology and animal nutrition. 2021;105(5):874–889. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.13367

24. Nekrasov R. V., Ivanov G. A., Chabaev M. G., Zelenchenkova A. A., Bogolyubova N. V., Nikanova D. A., et al. Effect of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Fat on Health and Productivity Performance of Dairy Cows. Animals. 2022;12(16):2118. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12162118

25. Prachumchai R., Cherdthong A. Black Soldier Fly Larva Oil in Diets with Roughage to Concentrate Ratios on Fermentation Characteristics, Degradability, and Methane Generation. Animals. 2023;13(15):2416. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13152416

26. Renna M., Coppa M., Lussiana C., Le Morvan A., Gasco L., Maxin G. Full-fat insect meals in ruminant nutrition: *in vitro* rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2022;13(1):138. DOI: https://doi.org/10.1186/s40104-022-00792-2

27. Jayanegara A., Gustanti R., Ridwan R., Widyastuti Y. Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on in vitro bovine rumen fermentation and methanogenesis. Italian Journal of Animal Science. 2020;19(1):1310–1317. DOI: https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1841571

28. Prachumchai R., Suntara C., Kanakai N., Cherdthong A. Inclusion of Black Soldier Fly Larval Oil in Ruminant Diets Influences Feed Consumption, Nutritional Digestibility, Ruminal Characteristics, and Methane Estimation in Thai-Indigenous Steers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2025;1–9. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.14101

29. Beck M., Thompson L., Williams G., Place S., Gunter S., Reuter R. Fat supplements differing in physical form improve performance but divergently influence methane emissions of grazing beef cattle. Animal Feed Science and Technology. 2019;254:114210. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114210

30. Drehmel O., Brown-Brandl T., Judy J., Fernando S. C., Miller P. S., Hales K., Kononoff P. J. The influence of fat and hemicellulose on methane production and energy utilization in lactating Jersey cattle. Journal of Dairy Science. 2018;101(9):7892–7906. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13822

31. Beauchemin K. A., Ungerfeld E. M., Eckard R. J., Wang M. Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. Animal. 2020;14(S1):s2–s16. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731119003100

32. Hervás G., Boussalia Y., Labbouz Y., Della Badia A., Toral P. G., Frutos P. Insect oils and chitosan in sheep feeding: effects on in vitro ruminal biohydrogenation and fermentation. Animal Feed Science and Technology. 2022;285:115222. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115222

33. Min B. R., Solaiman S., Waldrip H. M., Parker D., Todd R. W., Brauer D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: a review of plant tannin mitigation options. Animal Nutrition. 2020;6(3):231–246. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002

34. Grainger C., Beauchemin K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? Animal Feed Science and Technology. 2011;166-167:308–320. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021

35. Boland T. M., Pierce K. M., Kelly A. K., Kenny D. A., Lynch M. B., Waters S. M., Whelan S. J., McKay Z. C. Feed intake, methane emissions, milk production and rumen methanogen populations of grazing dairy cows supplemented with various C 18 fatty acid sources. Animals. 2020:10(12):2380. DOI: https://doi.org/10.3390/ani10122380

Сведения об авторах

✉ **Боголюбова Надежда Владимировна,** доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru,
ORCID: **https://orcid.org/0000-0002-0520-7022**, e-mail: bogolubova@vij.ru

Девяткин Владимир Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2362-0291**

Некрасов Роман Владимирович, доктор с.-х. наук, профессор РАН, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4242-2239**

Information about the authors

✉ **Nadezhda V. Bogolyubova**, DSc in Biological Science, leading researcher, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132,
e-mail: vijinfo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0520-7022,** e- mail: bogolubova@vij.ru

Vladimir A. Devyatkin, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132,
e-mail: vijinfo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2362-0291**

Roman V. Nekrasov, DSc in Agricultural Science, professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Feeding Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4242-2239**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.388–395
УДК 619:636.4:612.336.3

Структура микробиоты толстой кишки молодняка свиней в норме и при патологии желудочно-кишечного тракта

© 2025. А. В. Филатов[1,2]✉, А. В. Минин[3], С. В. Николаев[2]
[1]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,*
[2]*Институт агробиотехнологий имени А. В. Журавского Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Российская Федерация,*
[3]*ООО «Сима», г. Ижевск, Российская Федерация*

Болезни органов пищеварения у животных в условиях промышленной технологии свинины имеют широкое распространение во всех технологических группах. Синдром диареи наиболее часто встречается у поросят на доращивании, особенно в начале периода, что связано с резким отъемом и изменением рациона. Цель работы – проведение сравнительной оценки фекальной микробиоты кишечника у здоровых поросят и молодняка с диарейным синдромом с помощью молекулярно-генетического метода. Взятие биологического материала проводили на крупном свиноводческом комплексе. Объектом исследования служил здоровый и больной молодняк свиней в технологической группе доращивания. В качестве молекулярно-генетического метода использовали метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени (qPCR). По результатам лабораторных исследований установлено, что развитие заболевания у животных сопровождалось увеличением в содержимом прямой кишки общего количества бактерий на $10^{7,32}$. В структуре фекальной микробиоты содержание желательных микроорганизмов у молодняка с клиническим проявлением диареи составило 82,19 %, что на 15,40 % меньше, чем у здоровых животных. Данные изменения происходили за счет увеличения в содержимом прямой кишки у больных поросят представителей нежелательных микроорганизмов. При проявлении диареи у поросят в биологическом материале регистрировали снижение большинства представителей нормофлоры, относящихся к роду Lactobacillus spp., Lachnobacterium spp., Clostridium spp, Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp., и увеличение численности условно-патогенных и патогенных микроорганизмов, в частности Peptostreptococcus spp., Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp., Staphylococcus spp., Staphylococcus spp., а также семейства Enterobacteriaceae. Понимание структурных изменений микробиоты в норме и при патологии позволит правильно интерпретировать эксперименты, ориентированные на коррекцию микробиома с помощью пробиотических средств, нацеленных на конкурентное замещение оппортунистической и патогенной микрофлоры.

Ключевые слова*: свиноводство, поросята на доращивании, диарея, микробиом, молекулярно-генетический метод, ПЦР в реальном времени*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Института агробиотехнологий имени А. В. Журавского Коми научного центра УрО РАН (тема № FUUU-2024-0014, регистрационный номер НИОКТР 124102200684-8).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Филатов А. В., Минин А. В., Николаев С. В. Структура микробиоты толстой кишки молодняка свиней в норме и при патологии желудочно-кишечного тракта. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):388–395. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.388-395

Поступила: 24.12.2024 Принята к публикации: 12.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The structure of the microbiota of the colon of young pigs is normal and in the pathology of the gastrointestinal tract

© 2025. Andrey V. Filatov[1, 2]✉, Alexander V. Minin[3], Semyon V. Nikolaev[2]
[1]*Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,*
[2]*A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation,*
[3]*Sima LLC, Izhevsk, Russian Federation*

Diseases of the digestive organs in animals in the conditions of industrial pork technology are widespread in all technological groups. Diarrhea syndrome is the most frequent in piglets on nursery, especially at the beginning of the period, which is associated with abrupt weaning and diet change. The aim of the work was to carry out a comparative assessment of fecal intestinal microbiota in healthy piglets and saplings with diarrheal syndrome using a molecular genetic method. Biological

material was collected at a large pig-breeding complex. The object of the study was healthy and sick young pigs in the technological group of nursery. The real-time polymerase chain reaction (qPCR) method was used as a molecular genetic method. According to the results of laboratory studies, it was found that the development of the disease in animals was accompanied by an increase in the total number of bacteria in the contents of the rectum by $10^{7.32}$. In the structure of the fecal microbiota, the content of desirable microorganisms in young animals with clinical manifestation of diarrhea was 82.19 %, which is 15.40 % less than in healthy animals. These changes occur due to an increase in the contents of the rectum in sick piglets of representatives of undesirable microorganisms. When diarrhea occurs in piglets, a decrease in the majority of representatives of the normoflora belonging to the genus Lactobacillus spp., Lachnobacterium spp., Clostridium spp., Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp. is recorded in the biological material and an increase in the number of opportunistic and pathogenic microorganisms, in particular Peptostreptococcus spp., Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp., Staphylococcus spp., Staphylococcus spp., as well as the Enterobacteriaceae family. Understanding the structural changes of the microbiota in normal and pathological conditions will allow for the correct interpretation of the experiments aimed at correcting the microbiome using probiotic agents aimed at the competitive replacement of opportunistic and pathogenic microflora.

Keywords: *pig breeding, weaning piglets, diarrhea, microbiome, molecular genetic method, real-time qPCR*

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUU-2024-0014, registration number 124102200684-8).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Filatov A. V., Minin A. V., Nikolaev S. V. The structure of the intestinal microbiota of the colon of young pigs is normal and in the pathology of the gastrointestinal tract. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):388–395. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.388-395

Received: 24.12.2024 Accepted for publication: 12.03.2025 Published online: 29.04.2025

Патология желудочно-кишечная тракта у свиней, основным клиническим симптомом которой является диарея, имеет широкое распространение в условиях предприятий по производству свинины. В зависимости от организации зоотехнических и ветеринарно-профилактических мероприятий в хозяйствах развитие диарейного синдрома в технологических группах при выращивании свиней варьировало от 15 до 90 % [1]. В группу риска особенно попадают поросята при переводе на доращивание. Заболевание сопровождается значительными снижениями прироста живой массы, а нередко и гибелью животных на различных этапах выращивания. Так, смертность животных от общего числа павших у подсосных поросят составляет 70,0–75,0 %, у молодняка на доращивании – 30,0–35,0 %, на откорме – 15,0–17,0 % [2].

Наиболее часто этиологическим фактором развития диареи в послеотъемный период у молодняка выступает ассоциация условно-патогенных микроорганизмов. Среди которых у молодняка на доращивании преимущественно идентифицируют кишечную палочку, сальмонеллы, клостридии, стафилококки, стрептококки, возбудителя дизентерии [2, 3]. Однако микробный фактор в большинстве случаев необходимо рассматривать как следствие, первопричина расстройства желудочно-кишечного тракта преимущественно вызвана ошибками в кормлении и несоблюдении гигиены. К технологическим факторам следует отнести несбалансированность и резкую смену рациона, недоброкачественность корма, а также содержание в нем энтеро- и микотоксинов, применение зерна, непрошедшего естественную ферментацию, неподготовленность производственных помещений, транспортировка (перегоны) животных, проблемы с водоснабжением и качеством воды, неоптимизированный микроклимат [2, 4, 5].

Все эти этиологические факторы создают идеальные условия для размножения бактерий и выработки токсинов в желудочно-кишечном тракте животного, провоцируя развитие воспалительных процессов. Так, кишечная палочка обуславливает развитие колиэнтеротоксемии, под действием токсинов усиливается выделение воды и электролитов в просвет кишечника, провоцируя развитие обезвоживания и диареи, что приводит к повреждению энтероцитов и нарушению всасывания [6].

Устойчивость молодняка свиней к развитию патологии пищеварительной системы во многом определяется ее микробиомом. В микробиоме кишечника свиней относительная доля бактерий, среди всех микроорганизмов его заселяющих, составляет более 97 %. Другие представители кишечной флоры также играют важную роль в биоценозе, но их доля составляет всего для архея 0,1-0,2 %, вирусов – 0,1 % и грибов – 0,03–0,10 % [7]. Основные микробные компоненты образуют ядро микробной функции, а различия в основной микробиоте тесно связаны с различными патофизиологическими состояниями. При этом информация о микробиоме содержимого кишечника

у свиней с диареей носит ограниченный характер. Поэтому познание и оценка в норме и при патологии микробного разнообразия содержимого толстой кишки как патогенного, так и симбиотического позволит лучше понять структуру и таксономию микробиома молодняка свиней в его жизнедеятельности, что создаст возможность проводить раннюю диагностику заболеваний и разработку методов коррекции микробиоценоза.

Цель работы – провести с помощью молекулярно-генетического метода сравнительную оценку фекальной микробиоты кишечника у здоровых поросят и молодняка с диарейным синдромом.

Научная новизна – впервые при использовании отечественной тест-системы представлена характеристика микробиоценоза толстой кишки свиней на доращивании в норме и при патологии пищеварения. Показано, что диарейный синдром у молодняка при снижении численности симбионтной микрофлоры сопровождается увеличением числа нежелательных микроорганизмов.

Материал и методы. Отбор содержимого кишечника от здорового и с признаками диареи молодняка осуществляли в условиях промышленного комплекса. Эксперимент включал сочетание клинического обследования поросят в технологической группе доращивания и микробиологических исследований биоматериала, полученного от этих животных. По критериям отбора биологического материала здоровыми животными считали особей, у которых в анамнезе не было проявлений клинических признаков диареи и других заболеваний, а больными – с жидкими водянистыми выделениями кала в течение двух суток, которые до взятия проб не получали антимикробную терапию. Пробы фекалий отбирали с соблюдением асептики в стерильные пробирки «Эппендорф» и хранили до момента исследования при температуре -20 °С.

Для количественного определения содержания микроорганизмов в фекалиях поросят использовали метод ПЦР в реальном времени. Постановку реакции осуществляли на детектирующем амплификаторе ДТ Lite-4 (ООО «НПО ДНК-Технология») с использованием реагентов «Фемофлор» (ООО «НПО ДНК-Технология»).

Статистическая обработка материала проведена методами вариационной статистики в программе Microsoft Excel с использованием критерия Стьюдента. Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с помощью критерия х2 при двух уровнях значимости: $P<0,05$, $P<0,01$.

Результаты и их обсуждение. При оценке фекальной микробиоты молодняка свиней выявлены существенные различия в количестве бактерий между здоровыми и с диареей поросятами (табл. 1).

Развитие заболевания у животных сопровождается увеличением в содержимом прямой кишки общего количества бактерий на $10^{7,32}$. Количественные изменения отражаются в структурном взаимодействии между нормофлорой, условно-патогенными и патогенными микроорганизмами. В фекальной микробиоте у больного молодняка содержание нормофлоры составило 82,19 %, что на 15,40 % меньше, чем у клинически здорового. Данные структурные изменения происходят за счет увеличения в содержимом кала представителей нежелательных микроорганизмов у заболевших поросят. У животных с признаками диареи эти микроорганизмы составили 17,50 %, у здоровых – только 2,06 %. Патогенные микроорганизмы в общей структуре не имели значительных различий, их присутствие в изучаемых пробах у здорового и больного молодняка выявлено 0,35 и 0,31 % соответственно.

Среди нормальной кишечной микрофлоры у молодняка, оставшегося здоровым, регистрировали набольшее количество клостридий, лактобацилл и лактат-утилизирующих бактерий при меньшей численности бактероидов на $10^{6,34}$ и эубактерии – на $10^{6,67}$ (рис. 1). Бактероиды являются одними из многочисленных представителей кишечной флоры из-за своей способности разлагать полисахариды, что связано с увеличением в рационе растительных кормов при переводе поросят на доращивание. Вероятно, увеличение данных микроорганизмов связано с перераспределения родов данных кишечных представителей, в частности за счет увеличения рода *Prevotella*. По данным К. Л. Янг и др. (Q. L. Yang et al.) [8], *Prevotella spp.* является доминирующим микроорганизмом у новорожденных поросят с диареей, что связано с ее провоспалительными свойствами [9]. Это согласуется с исследованием, что при воспалительных заболеваниях в микробиоме, в котором доминируют превотеллы, происходит сдвиг сообщества в сторону бактероидов, таких как *Clostridia*, *Blautia* и *Lachnospiraceae* [10]. В фекальном микробиоме здоровых поросят бактерий рода *Lactobacillus spp.* было на $10^{5,36}$

(P<0,05) больше, чем у больных диареей сверстников. Лактобациллы частые представители в фекальной микробиоте свиней [11], которые защищают от кишечных патогенов и конкурируют с грамотрицательными *Prevotella, Sutterella* и *Campylobacter* за места связывания со слизистой оболочкой [12]. В наших исследованиях у молодняка с диареей были выделены более низкие уровни лактобацилл, что согласуется с предыдущими исследованиями [8, 13, 14].

Таблица 1 – **Количественная представленность фекальной микрофлоры свиней (ДНК-геномов 1×10^{x}/г) (n = 6) /**
Table 1 – **Quantitative representation of pig fecal microflora (DNA genomes 1×10^{x}/g) (n = 6)**

Показатель / Indicator	*Группа животных / Group of animals*	
	здоровые / healthy	*больные / patients*
Общее количество бактерий / Total number of bacteria	6,79±6,17	7,43±7,25
Нормофлора / Normoflora		
Бактероиды родов *Prevotella spp.* и *Porphyromonas spp.* / Bacteroides genera *Prevotella spp.* And *Porphyromonas spp.*	6,46±6,01	6,70±6,57
Эубактерии рода *Eubacterium spp.* / Eubacteria of the genus *Eubacterium spp.*	5,55±5,06	6,70±6,57
Клостридии родов *Lachnobacterium spp., Clostridium spp.* / Clostridia of the genera *Lachnobacterium spp., Clostridium spp.*	6,66±5,96	6,54±6,25
Лактобациллы рода *Lactobacillus spp.* / Lactobacilli of the genus *Lactobacillus spp.*	5,56±4,77	5,12±5,03*
Лактат-утилизирующие бактерии: роды *Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp.* / Lactate-utilizing bacteria: genera *Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp.*	5,57±5,14	5,43±5,02
Нежелательная микрофлора / Undesirable microflora		
Пептострептококки рода *Peptostreptococcus spp.* / Peptostreptococci of the genus *Peptostreptococcus spp.*	5,09±4,56	6,03±5,77
Энтеробактерии сем. *Enterobacteriaceae* / Enterobacteria of the family *Enterobacteriaceae*	4,47±3,86	6,27±5,90**
Актиномицеты (*Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp.*) / Actinomycetes (*Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp.*)	3,28±3,08	4,57±4,53
Патогены / Pathogens		
Фузобактерии родов *Fusobacterium spp., Sneathia spp., Leptotrichia spp.* / Fusobacteria of the genera *Fusobacterium spp., Sneathia spp., Leptotrichia spp.*	3,10±2,80	Ниже предела достоверного обнаружения / Below the limit of reliable detection
Стрептококки рода *Streptococcus spp.* / Streptococci of the genus *Streptococcus spp.*	4,23±3,90	5,39±4,84*
Стафилококки рода *Staphylococcus spp.* / Staphylococci of the genus *Staphylococcus spp.*	3,39±3,028	3,44±2,87
Микоплазмы рода *Mycoplasma spp.* / Mycoplasmas of the genus *Mycoplasma spp.*	Ниже предела достоверного обнаружения / Below the limit of reliable detection	
Микоплазмы рода *Ureaplasma spp.* / Mycoplasmas of the genus *Ureaplasma spp.*		
Грибы рода *Candida spp.* / Fungi of the genus *Candida spp.*	3,76±2,94	3,20±2,82**

Примечания: *P<0,05; **P<0,01 – по отношению к здоровым животным /
Notes: *P<0.05; **P<0.01 – in relation to healthy animals

Среди представителей, отнесённых к условно-патогенным микроорганизмам рода *Peptostreptococcus spp., Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp.* и сем. *Enterobacteriaceae*, регистрировали низкие их количественные значения у здорового молодняка свиней по сравнению с больными диареей (рис. 2). Наиболее значимые различия между здоровыми и больными сверстниками выявлены в количестве энтеробактерий, разница составила $10^{6,27}$ (P<0,01). Как показано в предыдущих исследованиях энтеробактерии увеличивают риск развития диареи у свиней [9, 14, 15].

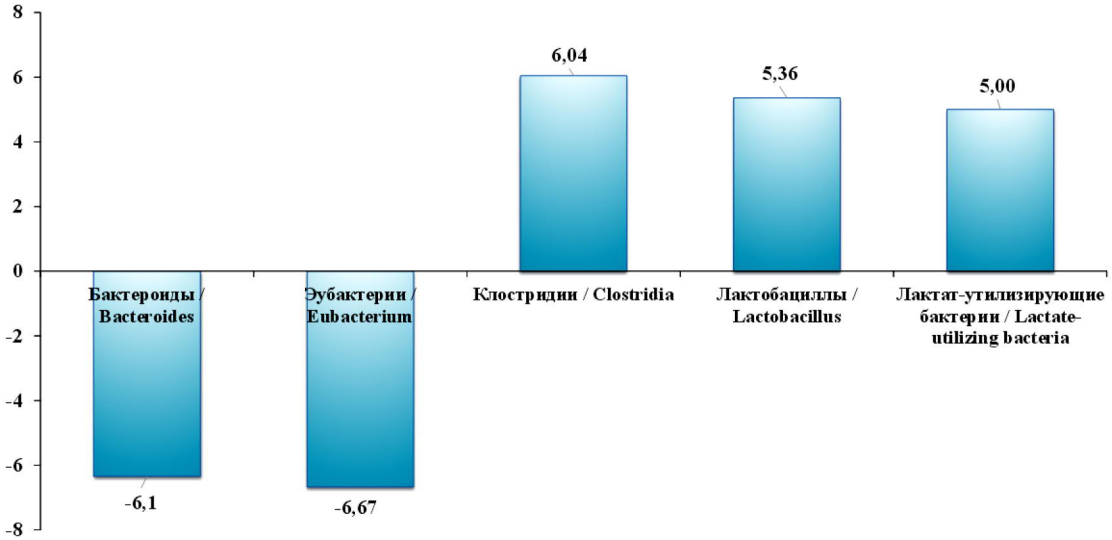


Рис. 1. **Разница в содержании ДНК-геномов (10^x) нормофлоры у здоровых поросят в сравнении с особями, имеющими клиническую картину синдрома диарея /**

Fig. 1. **The difference in the content of DNA genomes (10^x) of the normoflora in healthy piglets compared to individuals with a clinical picture of diarrhea syndrome**

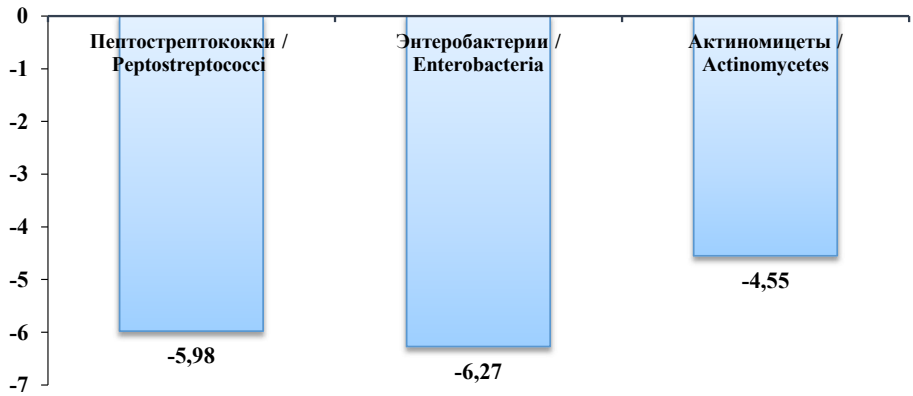


Рис. 2. **Разница в содержании ДНК-геномов (10^x) нежелательных микроорганизмов у здоровых поросят в сравнении с особями, имеющими патологию пищеварения /**

Fig. 2. **The difference in the content of DNA genomes (10^x) of undesirable microorganisms in healthy piglets compared to individuals with digestive pathology**

Патогенные микроорганизмы имели разные количественные значения в сравнительном аспекте между больными и здоровыми животными (рис. 3). Представители фузобактерии считаются воспалительными микроорганизмами и рассматриваются прогностическим биомаркером, который ингибирует Т-клеточные реакции и способствует экспрессии факторов воспаления [16, 17]. Таким образом, часто эти микроорганизмы считаются причиной возникновения диареи у поросят. Однако данные представители нами не были выявлены у больных поросят, а у здоровых они идентифицированы на низком уровне. В фекальной микробиоте здорового и больного молодняка обнаружено большое количество стрептококков, что представляет потенциальную угрозу для развития у всех особей специфического инфекционного заболевания – стрептококкоза. При этом в кале поросят с клиническими признаками диарея их число было выше на $10^{5,36}$($P<0,05$), чем у здоровых животных. У молодняка с расстройством органов пищеварения, также преобладали представителей рода *Staphylococcus spp.*, различия со здоровыми животными составили $10^{2,42}$. Грибы рода *Candida* spp. Находили в бóльшем количестве у молодняка без признаков диареи, а микоплазмы не были идентифицированы у всех поросят вне зависимости от состояния здоровья.

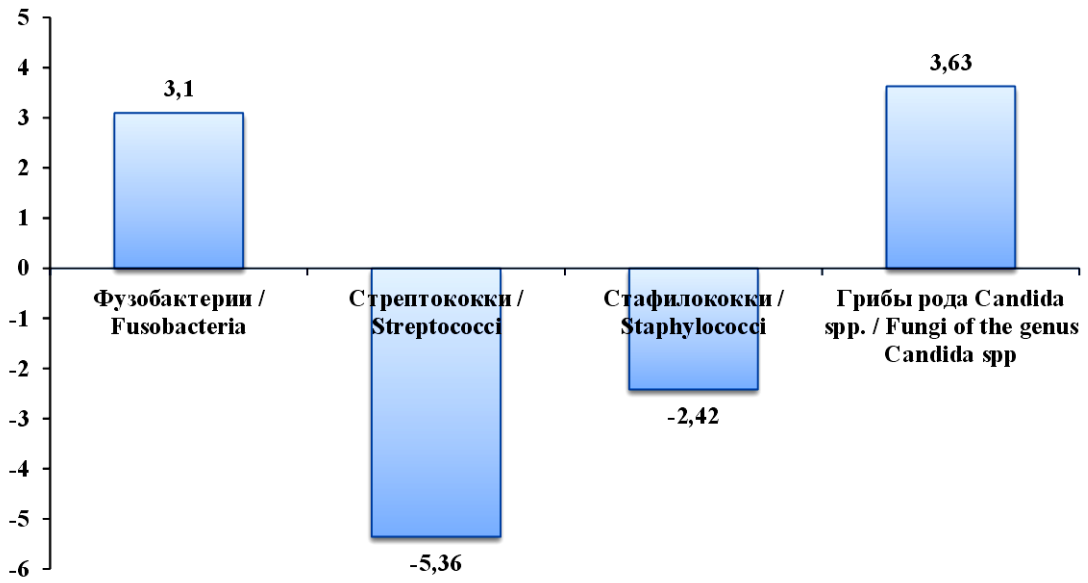


Рис. 3. **Разница в содержании ДНК-геномов (10ˣ) патогенных микроорганизмов у здоровых поросят в сравнении с особями, имеющими клиническую картину синдрома диарея /**

Fig. 3. **The difference in the content of DNA genomes (10 x) of pathogenic microorganisms in healthy piglets compared to individuals with a clinical picture of diarrhea syndrome**

Заключение. Таким образом, проявление диареи у поросят на доращивании обусловлено снижением в фекальной микробиоте большинства полезных бактерий рода *Lactobacillus spp., Lachnobacterium spp., Clostridium spp, Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp.* и увеличением численности условно-патогенных и патогенных микроорганизмов, в частности *Peptostreptococcus spp., Mobiluncus spp., Corynebacterium spp., Atopobium spp., Staphylococcus spp., Staphylococcus spp.*, а также сем. *Enterobacteriaceae*. Понимание структурных изменений микробиоты в норме и при патологии позволит правильно интерпретировать эксперименты, ориентированные на коррекцию микробиома с помощью пробиотических средств, нацеленных на конкурентное замещение оппортунистической и патогенной микрофлоры.

Список литературы

1. Захарова Т. П., Сидорова К. А. Некоторые данные по незаразной патологии свиней. Современные проблемы науки и образования. 2014;(6):1829. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tgrhmd EDN: TGRHMD

2. Ветвицкая А. Диарея у поросят: эффективные шаги по защите поголовья. Эффективное животноводство. 2020;8(165):39–45. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44310690 EDN: JHLSOB

3. Хорошевская Л. В. Эффективность использования цинка в лечении диареи свинопоголовья. Эффективное животноводство. 2020;1(158):66–68. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42479027 EDN: SKRYUF

4. Новикова Е. Н., Коба И. С., Барсуков Ю. И. Распространение заболеваний незаразной этиологии в различных отраслях животноводства в Российской Федерации. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023;(5):34–41. DOI: https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202305005 EDN: OLSAXA

5. Филатов А. В., Якимов А. В. Пробиотический комплекс "ЛиквaФид" для молодняка свиней на доращивании. Свиноводство. 2021;(4):32–34. DOI: https://doi.org/10.37925/0039-713X-2021-4-32-34 EDN: AWTGBA

6. Артузо-Понте В. Постотъемная диарея у поросят: новая эра в решении проблемы. Комбикорма. 2018;(4):73.

7. Коста М. Распутывание микробиоты и свиноводства – почему мы еще не достигли этого? Часть 1. Professional Pig Community. 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.pig333.com/articles/current-limitations-to-studying-the-pig-microbiota_18191/ (дата обращения: 05.12.2024).

8. Yang Q. L., Huang X. Y., Zhao S. G., Sun W. Y., Yan Z. Q., Wang P. F., et al. B Structure and Function of the Fecal Microbiota in Diarrheic Neonatal Piglets. Frontiers of Microbiology. 2017;8:502. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00502

9. Лоренгель Т. И., Шабанова Е. О. Энтеробиоценоз поросят с симптомокомплексом диареи. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022;(2(46)):115–121. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_115 EDN: WYFTTD

10. Scher J. U., Sczesnak A., Longman R. S., Segata N., Ubeda C., Bielski C., et al. Expansion of intestinal Prevotella copri correlates with enhanced susceptibility to arthritis. Elife. 2013;2:e01202. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.01202

11. Li X. Q., Zhu Y. H., Zhang H. F., Yue Y., Cai Z. X., Lu Q. P., et al. Risks associated with high-dose Lactobacillus rhamnosus in an Escherichia coli model of piglet diarrhoea: intestinal microbiota and immune imbalances. PLoS ONE. 2012;7(7):e40666. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040666

12. Mann E., Schmitz-Esser S., Zebeli Q., Wagner M., Ritzmann M., Metzler-Zebeli B. U. Mucosa-associated bacterial microbiome of the gastrointestinal tract of weaned pigs and dynamics linked to dietary calcium-phosphorus. PLoS ONE. 2014;9(1):e86950. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086950

13. Costa M. C., Arroyo L. G., Allen-Vercoe E., Stämpfli H. R., Kim P. T., Sturgeon A., Weese J. S. Comparison of the fecal microbiota of healthy horses and horses with colitis by high throughput sequencing of the V3-V5 region of the 16S rRNA gene. PLoS ONE. 2012;7(7):e41484. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041484

14. Hermann-Bank M. L., Skovgaard K., Stockmarr A., Strube M. L., Larsen N., Kongsted H., et al. Characterization of the bacterial gut microbiota of piglets suffering from new neonatal porcine diarrhoea. BMC Veterinary Research. 2015;11:139. DOI: https://doi.org/10.1186/s12917-015-0419-4

15. Jonach B., Boye M., Stockmarr A., Jensen T. K. Fluorescence in situ hybridization investigation of potentially pathogenic bacteria involved in neonatal porcine diarrhea. BMC Veterinary Research. 2014;10:68. DOI: https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-68

16. Nosho K., Sukawa Y., Adachi Y., Ito M., Mitsuhashi K., Kurihara H., et al. Association of Fusobacterium nucleatum with immunity and molecular alterations in colorectal cancer. World Journal of Gastroenterology. 2016;22(2):557–566. DOI: https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i2.557

17. Wei Z., Cao S., Liu S., Yao Z., Sun T., Li Y., et al. Could gut microbiota serve as prognostic biomarker associated with colorectal cancer patients' survival? A pilot study on relevant mechanism. Oncotarget. 2016;7(29):46158–46172. DOI: https://doi.org/10.18632/oncotarget.10064

References

1. Zakharova T. P., Sidorova K. A. Some data on noncontagious pathology of pigs. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2014;(6):1829. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tgrhmd

2. Vetvitskaya A. Diarrhea in piglets: effective steps to protect livestock. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;8(165):39–45. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44310690

3. Khoroshevskaya L. V. The effectiveness of zinc use in the treatment of porcine diarrhea. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;1(158):66–68. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42479027

4. Novikova E. N., Koba I. S., Barsukov Yu. I. The spread of diseases of non-infectious etiology in various branches of animal husbandry in the Russian Federation. *Veterinariya, zootekhniya i biotekhnologiya* = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology. 2023;(5):34–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202305005

5. Filatov A. V., Yakimov A. V. Probiotic complex LiquaFid for rearing pigs. *Svinovodstvo*. 2021;(4):32–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37925/0039-713X-2021-4-32-34

6. Artuzo-Ponte V. Post-weaning diarrhea in piglets: a new era in problem solving. *Kombikorma*. 2018;(4):73. (In Russ.).

7. Kosta M. Untangling the microbiota and pig farming – why haven't we achieved this yet? Part 1. Professional Pig Community. 2022. URL: https://www.pig333.com/articles/current-limitations-to-studying-the-pig-microbiota_18191/ (accessed: 05.12.2024).

8. Yang Q. L., Huang X. Y., Zhao S. G., Sun W. Y., Yan Z. Q., Wang P. F., et al. B Structure and Function of the Fecal Microbiota in Diarrheic Neonatal Piglets. Frontiers of Microbiology. 2017;8:502. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00502

9. Lorengel T. I., Shabanova E. O. Entrobiocenosis of piglets with diarrhea symptom complex. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2022;(2(46)):115–121. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_115

10. Scher J. U., Sczesnak A., Longman R. S., Segata N., Ubeda C., Bielski C., et al. Expansion of intestinal Prevotella copri correlates with enhanced susceptibility to arthritis. Elife. 2013;2:e01202. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.01202

11. Li X. Q., Zhu Y. H., Zhang H. F., Yue Y., Cai Z. X., Lu Q. P., et al. Risks associated with high-dose Lactobacillus rhamnosus in an Escherichia coli model of piglet diarrhoea: intestinal microbiota and immune imbalances. PLoS ONE. 2012;7(7):e40666. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040666

12. Mann E., Schmitz-Esser S., Zebeli Q., Wagner M., Ritzmann M., Metzler-Zebeli B. U. Mucosa-associated bacterial microbiome of the gastrointestinal tract of weaned pigs and dynamics linked to dietary calcium-phosphorus. PLoS ONE. 2014;9(1):e86950. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086950

13. Costa M. C., Arroyo L. G., Allen-Vercoe E., Stämpfli H. R., Kim P. T., Sturgeon A., Weese J. S. Comparison of the fecal microbiota of healthy horses and horses with colitis by high throughput sequencing of the V3-V5 region of the 16S rRNA gene. PLoS ONE. 2012;7(7):e41484. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041484

14. Hermann-Bank M. L., Skovgaard K., Stockmarr A., Strube M. L., Larsen N., Kongsted H., et al. Characterization of the bacterial gut microbiota of piglets suffering from new neonatal porcine diarrhoea. BMC Veterinary Research. 2015;11:139. DOI: https://doi.org/10.1186/s12917-015-0419-4

15. Jonach B., Boye M., Stockmarr A., Jensen T. K. Fluorescence in situ hybridization investigation of potentially pathogenic bacteria involved in neonatal porcine diarrhea. BMC Veterinary Research. 2014;10:68. DOI: https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-68

16. Nosho K., Sukawa Y., Adachi Y., Ito M., Mitsuhashi K., Kurihara H., et al. Association of Fusobacterium nucleatum with immunity and molecular alterations in colorectal cancer. World Journal of Gastroenterology. 2016;22(2):557–566. DOI: https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i2.557

17. Wei Z., Cao S., Liu S., Yao Z., Sun T., Li Y., et al. Could gut microbiota serve as prognostic biomarker associated with colorectal cancer patients' survival? A pilot study on relevant mechanism. Oncotarget. 2016;7(29):46158–46172. DOI: https://doi.org/10.18632/oncotarget.10064

Сведения об авторах

✉ **Филатов Андрей Викторович,** доктор вет. наук, профессор, профессор кафедры разведения, кормления и частной зоотехнии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский проспект, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgatu.ru; ведущий научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4557-844x,** e-mail: fav6819@yandex.ru

Минин Александр Витальевич, кандидат вет. наук, директор ООО «Сима», ул. Строителей, д. 3, г. Уржум, Кировская область, Российская Федерация, 613531, e-mail: minintotal@mail.ru

Николаев Семен Викторович, кандидат вет. наук, научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5485-4616**

Information about the authors

✉ **Andrey V. Filatov**, DSc in Veterinary, professor, professor at the Department of Breeding, Feeding and Private Animal Science, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky Prospekt, 133, Kirov, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgatu.ru; senior researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27 Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4557-844x,** e-mail: fav6819@yandex.ru

Alexander V. Minin, PhD in Veterinary, Director of Sima LLC, Stroiteley Village, 3, Urzhum, Kirov region, Russian Federation, 613531, e-mail: minintotal@mail.ru

Semyon V. Nikolaev, PhD in Veterinary, researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27 Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5485-4616**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.396–403
УДК 619:616-07+633.8+615.015.21

Влияние фитобиотика с экстрактом лабазника на клинико-гематологический статус телят постмолочного периода

© 2025. А. А. Ивановский✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

***Цель исследований:** изучить влияние экспериментальной фитобиотической добавки на морфологические и биохимические показатели крови, прирост живой массы телят послемолочного периода жизни. **Предмет исследований** – фитобиотик с условным названием Фитостим-Л, основными действующими компонентами которого являются биологически активные соединения лабазника вязолистного (F. ulmaria lmaria* **(L.) Maxim.)** *и пробиотические микроорганизмы. **Эксперимент** проводили в течение 30 суток на телятах черно-пестрой породы, начиная с 2,5-месячного возраста. Животные были распределены на опытную (Фитостим-Л) и контрольную (хозяйственный рацион) группы по 10 голов в каждой. Телятам опытной группы Фитостим-Л применяли перорально из расчета 5 грамм на голову в сутки после разведения в молоке. В начале и по окончании эксперимента дважды исследовали кровь на биохимические и морфологические показатели. Учитывали заболеваемость, сохранность и прирост живой массы. По окончании эксперимента результаты анализа крови телят опытной группы в сравнении с контролем показали увеличение эритроцитов на 9,7 %, гемоглобина – на 18,4 % (P<0,05), общего белка – на 13,1 %, суммарных Ig – на 18,9 % (P<0,05), глобулинов – на 15,8 %, альбуминов – на 10,8 % (P<0,05), снижение активности АЛТ на 19,1 %, АСТ – на 38,2 % (P<0,05) и концентрации мочевины на 12,8 % (P<0,05). Среднесуточный прирост живой массы телят после применения Фитостим-Л превзошел аналогичный показатель в контроле на 0,27 кг. Больных животных в опытной группе не было зафиксировано, сохранность – 100 %.*

Ключевые слова: *растения, флавоноиды, кровь, масса тела, сохранность, заболеваемость*

***Благодарности**:* работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0003).

Автор благодарит профессора С. Н. Копылова и студента факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» С. В. Марьинскую за помощь в проведении исследований.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Ивановский А. А. Влияние фитобиотика с экстрактом лабазника на клинико-гематологический статус телят постмолочного периода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):396–403.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.396-403

Поступила: 27.02.2025 Принята к публикации: 03.04.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The effect of phytobiotic with *F. ulmaria* extract on the clinical and hematological status of post-milk calves

© 2025. Alexander A. Ivanovsky ✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The aim of the study was to investigate the effect of an experimental phytobiotic supplement on morphological and biochemical parameters of blood and live weight gain in post-milk calves. The subject of the study was a phytobiotic conditionally called Fitostim-L, the main active ingredients of which were biologically active compounds of meadowsweet (F. ulmaria (L.) Maxim.) and probiotic microorganisms. The experiment was conducted for 30 days on black-and-white calves, starting from the age of 2.5 months. The animals were divided into experimental (Fitostim-L) and control (farm ration) groups of 10 heads each. The calves of the experimental group received Fitostim-L orally, at a rate of 5 grams per head per day, after dilution in milk. At the beginning and at the end of the experiment, blood was tested twice for biochemical and morphological parameters. Morbidity, survivability, and live weight gain were taken into account. By the end of the experiment, blood analysis of calves in the experimental group, compared to the control, showed an increase in erythrocytes by 9.7 %, hemoglobin – by 18.4 % (P<0.05), total protein – by 13.1 %, total Ig – by 18.9 % (P<0.05), globulins – by 15.8 %, albumins – by 10.8 % (P<0.05), a decrease in ALT activity by 19.1 %, AST – by 38.2 % (P < 0.05) and urea concentration by 12.8 % (P < 0.05). The average daily live weight gain of calves after using Fitostim-L exceeded the same indicator in the control by 0.27 kg. No sick animals were recorded in the experimental group, survivability was 100 %.

Keywords: *plants, flavonoids, blood, body weight, survival, morbidity*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

The author thanks professor S. N. Kopylov and student of the Faculty of Veterinary Medicine of the Vyatka State Agrotechnological University S. V. Maryinskaya for their assistance in conducting the research.

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

***Conflict of interest*:** the authors declared no conflict of interest.

***For citations*:** Ivanovsky A. A. The effect of phytobiotic with *F. ulmaria* extract on the clinical and hematological status of post-milk calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):396–403. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.396-403

Received: 17.02.2025 Accepted for publication: 03.04.2025 Published online:29.04.2025

В промышленном животноводстве особое значение приобретает применение новых препаратов и кормовых добавок, сочетающих в себе экологичность и эффективность влияния на физиологические системы организма, нормализующих обмен веществ и повышающих сопротивляемость к болезням различной этиологии. Состояние общей резистентности и метаболический статус животных тесно связаны с уровнем индивидуальных адаптивных реакций. У молодых животных в связи с недостаточно зрелой иммунной системой отмечаются низкие показатели естественной резистентности (бактерицидная, лизоцимная, фагоцитарная активность сыворотки крови, общий белок, альбумины, иммуноглобулины и др.), что часто приводит к возникновению так называемых болезней молодняка (диспепсии, энтериты, бронхопневмонии). Однако в процессе развития и роста организм постепенно начинает адекватно реагировать на неблагоприятные условия различного генеза, в первую очередь, за счет повышения напряженности собственного иммунитета. Известно, что поддержание нормального гомеостаза у животных в значительной степени зависит от успешности формирования механизма собственной защиты, в связи с чем создание и применение биодобавок и фармпрепаратов, повышающих резистентность организма к болезням и нормализующих метаболические процессы в нем, становится актуальной задачей [1, 2].

Использование биологически активных веществ (БАВ) естественного происхождения приобретает все больший интерес, в первую очередь, из-за их безвредности для животных и безопасности получаемой от них продукции для человека. Растения являются основным источником получения БАВ природного происхождения, а именно: флавоноидов, экдистероидов, витаминов, органических кислот, пектинов, танинов и других. Большинство экстрагируемых из растений веществ обладают лечебно-профилактическим и корригирующим метаболизм действием [3, 4]. Одними из наиболее известных БАВ, продуцируемых растениями, являются флавоноиды – вещества, обладающие антиоксидантным, иммуномодулирующим, ангиопротекторным, метаболическим действием [5, 6]. Среди флавоноидов внимание ученых в большей степени привлекают производные кверцетина, присутствующие в большинстве растений. Так, например, установлено, что использование в кормлении свиней дигидрокверцитина улучшает метаболические процессы в организме животных [7], а его пероральное введение лабораторным крысам в дозе 15 мг/кг препятствует развитию перекисного окисления липидов [8]. Наиболее распространенным и практичным способом применения БАВ животным является введение их в рацион в форме кормовых добавок.

Среди кормовых добавок для животных хорошо зарекомендовали себя фитобиотики-комплексы, содержащие БАВ растений и другие экологичные и безвредные для организма животных разнообразные продукты (пробиотические микроорганизмы и их метаболиты, микро- и макроэлементы, витамины, некоторые органические кислоты и т. д.) [9, 10].

Одним из источников для создания фитобиотиков для животных может стать многолетнее травянистое растение – лабазник вязолистный (*Fillipendula ulmaria* (L.) Maxim.). Все части лабазника содержат БАВ, а суммарное содержание их в растении может зависеть от географического места его произрастания. Эфирное масло лабазника содержит салициловый альдегид, следы ванилина, гелиотропина, терпена. Среди биологически активных соединений лабазника выделяют кверцетин-4´-О-β-глюкозид, спиреозид, фенологликозиды, спиреин, изосалицин, танины, кумарины, аскорбиновую кислоту и микроэлементы. Фармакологическими исследованиями подтвержден широкий спектр действия экстракта из лабазника на организм [11, 12]. Именно разнообразный химический состав этого растения обусловливает его многостороннее влияние на различные органы и системы организма. Противовоспалительную активность лабазника связывают с присутствием в нем полифенольных соединений (апигенин, кверцетин)

и салициловой кислоты, а антиоксидантные свойства и иммуномодулирующую активность – с присутствием танинов в комплексе с флавоноидами. Эфирное масло лабазника обладает антибактериальной и антифунгальной активностью, кроме того, экстракты из лабазника обладают анксиолитическим, гепатопротекторным, ноотропным, антигипоксическим, гемореологическим, адаптогенным действием [13].

В медицине экстракт лабазника рекомендуют больным людям в качестве средства, повышающего антиметастатическую активность химиотерапии при раке [14]. У экстракта из цветков лабазника, помимо противовоспалительного влияния, установлена ранозаживляющая и гастропротекторная способность [15]. В научной литературе описан способ получения иммуномодулирующего средства из цветков лабазника вязолистного, ингибирующего размножение линии опухолевых клеток NCI-H460 [16].

В результате экспериментов, проведенных на животных, по изучению экспериментальной фитобиотической добавки, содержащей экстракт лабазника, были отмечены положительные тенденции в их организме. Установлено, что применение данной фитодобавки телятам молочного периода жизни стимулирует белковый метаболизм, увеличивает среднесуточный прирост живой массы животных в сравнении с контрольной группой [17].

Цель исследований – изучить влияние фитобиотической добавки Фитостим-Л на морфологические и биохимические показатели крови, прирост живой массы телят послемолочного периода жизни.

Научная новизна – получение новых данных о фармакодинамике экспериментального фитобиотика Фитостим-Л.

Материал и методы. Исследования проводили в лаборатории ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Кировской областной ветеринарной лаборатории и СПК СХА (колхоз) «Лузский» Лузского района Кировской области. Предметом исследования служил фитобиотик с условным названием Фитостим-Л, который содержит экстракт лабазника вязолистного и культуру пробиотических микроорганизмов рода *Lactobacillus* в концентрации $4{,}0\times10^6$ КОЕ/г. Принцип приготовления фитобиотика заключался в экстрагировании фитосырья 70%-ным этанолом с последующей дегидратацией на адсорбенте, миксировании с лиофильно высушенной культурой пробиотических микроорганизмов и вкусовым наполнителем.

Эксперимент проводили в течение 30 суток на телятах черно-пестрой породы послемолочного периода (телочки), начиная с 2,5-месячного возраста, отобранных по принципу аналогов. Животных, выбранных в опыт, распределили на опытную (хозяйственный рацион + Фитостим-Л) и контрольную (хозяйственный рацион) группы по 10 голов в каждой. Телятам опытной группы после разведения в теплом молоке выпаивали Фитостим-Л в объеме 50 мл/голову в сутки из расчета 5 г целевого продукта на голову. Телята контрольной группы получали только хозяйственный рацион без применения каких-либо добавок. Суточный рацион телят в обеих группах включал: 18 л обрата; зерновую смесь (кукуруза, овес, пшеница) – 1,5–2,0 кг; корнеклубнеплоды – 500 г; сено – 3-4 кг.

В течение эксперимента дважды исследовали кровь в начале и по окончании опыта на биохимические (суммарные иммуноглобулины (Ig), общий белок, альбумины, глобулины, аланинаминотрансфераза (АЛТ), аспартатаминотрансфераза (АСТ), мочевина) и морфологические (эритроциты, лейкоциты, гемоглобин) показатели. Исследования проводили в ветеринарной клинике ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ на гематологическом анализаторе URIT-3020. Лейкоцитарный профиль определяли в окрашенных мазках крови по методу Лейшмана. Общее количество белка находили рефрактометрическим методом, количество альбуминов и глобулинов – унифицированным колориметрическим, активность АСТ и АЛТ – унифицированным методом Райтмана-Френкеля, мочевину исследовали фотоколориметрическим методом, Ig – в реакции с сульфитом натрия. Учёт заболеваемости и продуктивности (прирост живой массы) осуществляли по данным наблюдений и взвешивания животных в начале и по окончании опыта. Математическую обработку данных в опытах проводили с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel. Достоверность полученных результатов – в соответствии с t-критерием Стьюдента при $P<0{,}05$.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования морфологических показателей крови телят представлены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, в начале наблюдений содержание гемоглобина в крови животных опытной (78,8±0,22 г/л) и контрольной (75,8±0,17 г/л) групп ниже нормы, что свидетельствует о возможном недостатке в рационе телят белка, минеральных веществ, а также дефиците одного или нескольких веществ – стимуляторов гемопоэза: кобальта, железа, меди, витамина B_{12} и фолиевой кислоты.

Таблица 1 – **Влияние фитобиотика Фитостим-Л на морфологические показатели крови телят (n = 10 в группе, M±m) /**
Table 1 – **The effect of the phytobiotic Fitostim-L on the morphological parameters of calf blood (n = 10 per group, M±m)**

Показатель / Index	*Референсные значения / Reference values*[1]	*Группа / Group*			
		опытная / experiment		*контрольная / control*	
		начало опыта / beginning of the experiment	*окончание опыта / end of the experiment*	*начало опыта / beginning of experiment*	*окончание опыта / end of the experiment*
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	100,0–130,0	78,8±0,22	105,8±0,01*	75,8±0,17	89,3±3,6
Лейкоциты, 10^9/л / Leukocytes, 10^9/l	4,5–12,0	9,8±0,46	5,9±0,37	7,8±0,23	6,0±0,17
Эритроциты, 10^{12}/л / Red blood cells, 10^{12}/l	5,0–7,5	6,8±0,17	7,9±0,15	6,14±0,18	7,2±0,08
Базофилы, % / Basophils, %	0–2	0	0	0	0
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	3–8	3,0±0,01	7,6±0,5*	4,0±0,01	4,6±1,0
Нейтрофилы, % / Neutrophils, %:					
- юные / young	0	0	0	0	0
- палочкоядерные / band	2–5	2,0±0,3	2,3±0,5	2,5±0,47	2,8±0,5
- сегментоядерные / segmented	20–35	33,9±0,09	21,5±0,17*	33,6±0,26	26,7±0,5
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	40–75	60,1±0,15	66,1±0,08	58,4±0,11	64,5±0,15
Моноциты, % / Monocytes, %	2–7	1,0±0,01	2,5±0,03*	1,5±0,01	1,4±0,1

Примечания: Опыт – хозяйственный рацион + фитобиотик Фитостим-Л, 50 мл/гол в сутки; контроль – хозяйственный рацион; * достоверно в сравнении с началом опыта и контролем при P<0,05 /

Notes: Experiment – farm ration + phytobiotic Fitostim-L, 50 ml/head per day, control – farm ration; * significantly compared to the beginning of the experiment and the control at P<0.05

По завершению применения фитобиотика Фитостим-Л анализ морфологических показателей крови у телят опытной группы показал увеличение эритроцитов и гемоглобина в сравнении с началом опыта на 16,1 % (7,9±0,15×10^{12}/л) и 34,2 % (105,8±0,01 г/л), в сравнении с контролем – на 9,7 и 18,4 % соответственно (P<0,05).

По окончании эксперимента у телят контрольной группы содержание гемоглобина оставалось на низком уровне (89,3±3,6 г/л) в отличие от опытной группы. Количество лейкоцитов у телят опытной (5,9±0,37×10^9/л) и контрольной (6,0±0,17×10^9/л) групп находилось в пределах нормативных значений. У подопытных животных наблюдали достоверное (P<0,05) увеличение числа эозинофилов с 3,0±0,01 до 7,6±0,5 %, моноцитов с 1,0±0,01 до 2,5±0,03 % (P<0,05), снижение сегментоядерных нейтрофилов с 33,9±0,09 до 21,5±0,17 % (P<0,05), что могло указывать на проявление иммунологической реакции организма телят на введение фитобиотика или на какие-либо иные этиологические факторы. При этом исследуемые показатели не выходили за пределы нормы. Результаты биохимических показателей крови представлены в таблице 2.

Анализ биохимических показателей животных в начале и по окончании опыта выявил у телят опытной группы увеличение общего белка на 18 %, альбуминов – на 30,1 %, содержание суммарных иммуноглобулинов на 28 % (P<0,05) в заключительной фазе эксперимента.

В сравнительном аспекте между группами (опыт/контроль) показатели содержания общего белка, суммарных Ig, глобулинов и альбумина у телят опытной группы превышали аналогичный результат в контроле на 13,1 %, 18,9 % (P<0,05), 15,8 и 10,8 % (P<0,05) соответственно.

[1]Шестакова А. М., Сапожников А. Ф., Вараксина Ж. В. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований в ветеринарной практике. Киров, 2009. 75 с.

Таблица 2 – **Влияние фитобиотика Фитостим-Л на биохимические показатели крови телят (n = 10 в группе, M±m) /**
Table 2 – **The effect of the phytobiotic Fitostim-L on the biochemical parameters of calf blood (n = 10 per group, M±m)**

Показатель / Index	*Референсные значения[2] / Reference values*	*Группа / Group*	
		опытная / experiment	*контрольная / control*
Начало опыта / Beginning of the experiment			
АЛТ, ед/л/ ALT, unit/l	5,0–19,0	22,2±0,15	21,2±0,20
АСТ, ед/л/ AST, unit/l	38,0–50,0	52,3±0,10	55,9±0,10
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	56,5–59,1	56,6±0,20	57,2±0,10
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	30–50	28,3±0,20	29,2±0,30
Глобулины г/л / Globulin, g/l	29–50	28,3±0,10	28,0±0,20
Суммарные Ig, г/л / Total Ig, g/l	15,0–20,0	14,2±0,10	14,5±0,10
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,1–9,2	3,6±0,01	3,7±0,01
Окончание опыта / End of the experiment			
АЛТ, ед/л / ALT, unit/l	5,0–19,0	19,0±0,20	23,5±0,30
АСТ, ед/л / AST, unit/l	38,0–50,0	42,2±0,40*	68,3±0,20
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	56,5–59,1	66,8±0,70	59,1±0,70
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	30–50	36,8±0,21*	33,2±0,30
Глобулины г/л / Globulin, g/l	29–50	30,0±0,30	25,9±0,40
Суммарные Ig, г/л / Total Ig, g/l	15,0–20,0	18,2±0,10*	15,3±0,10
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,1–9,2	3,4±0,09*	3,9±0,04

* Достоверно в равнении с началом опыта и контролем при P<0,05 /
* Significantly compared to the beginning of the experiment and the control at P<0.05

Известно, что в основе всех жизненных процессов в организме лежит обмен белков. Показатели уровня основных белков крови, в первую очередь альбуминов и глобулинов, характеризуют обеспеченность животных белками корма, а также являются индикатором иммунной резистентности. Все изменения, протекающие в организме, отражаются на белковом составе крови, поскольку он связан с процессами протеинообразования в других органах и тканях и отвечает за весь комплекс обменных процессов. Альбумин – белок, обладающий множеством функций необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Улучшает антиоксидантный статус, обладает антитоксическим действием, защищает клетки печени от вредоносных агентов, а эритроциты от влияния жирных кислот путем связывания последних. При дисфункции печени происходит снижение выработки в ней альбумина, а при нарушении функции почек альбумин будет выделяться с мочой в чрезмерном количестве, то есть альбумин является одним из диагностических индикаторов функциональной способности печени и почек. Нормализация у телят опытной группы показателей белкового метаболизма косвенно свидетельствовала о повышении их естественной резистентности[3]. Известно, что глобулины содержат α-, β-, Y-фракции, способствующие гуморальной защите организма, препятствуют развитию болезнетворных вирусов, активизируют лизоцимную, фагоцитарную и бактерицидную активность[4].

В начальной фазе эксперимента у телят в обеих группах показатели активности АЛТ (в опыте – 22,2±0,15 ед/л, в контроле – 21,2±0,20 ед/л) и АСТ (в опыте – 52,3±0,10 ед/л, в контроле – 55,9±0,10 ед/л) незначительно превышали референсные значения. Однако к окончанию эксперимента отмечено снижение уровня их активности в крови телят опытной группы до нормальных значений (АЛТ – 19,0±0,20 ед/л, АСТ – 42,2±0,40 ед/л). Сравнительный анализ между опытной и контрольной группами животных показал, что у телят опытной группы трансаминазы (АЛТ, АСТ) и мочевина на 19,1 %, 38,2 и 12,8 % (P<0,05) соответственно оказались ниже, чем в контроле.

[2]Алиев А. А. Обмен веществ у жвачных животных. М.: «Инженер», 1997. 112 с.
[3]Topal O., Batmaz H., Mecitogly Z., Uzabact E. Comparison of IgG and semiquantitative test for evalution of passive transfer immunity in calves. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2018;42:302–309. DOI: https://doi.org/10.3906/vet-1712-43
[4]Алиев А. А. Указ. соч.

Трансаминазы АСТ и АЛТ играют важную роль в обмене аминокислот, присутствуя во всех органах организма, но повышение их уровня в крови происходит при нарушении функции печени, скелетной мускулатуры и миокарда[5]. Показатели мочевины в крови телят в обеих группах находились в пределах нормы. Мочевина у жвачных животных синтезируется в печени, а также в рубце из азота аммиака, аминокислот и амидов. На долю мочевины приходится 50 % остаточного азота крови и до 80 % остаточного азота мочи. Из этого следует, что содержание мочевины в крови характеризует уровень азотистого обмена, экскреторную функцию почек и детоксикационную функцию печени.

Результаты анализа показателей сохранности, заболеваемости, прироста массы телят представлены в таблице 3.

Таблица 3 – **Влияние фитобиотика Фитостим-Л на прирост массы и сохранность телят (M±m, n = 10 в группе) /**
Table 3 – **The effect of the phytobiotic Fitostim-L on weight gain and survival of calves (M±m, n = 10 per group)**

Показатель / Indicators	*Опытная группа / Experimental group*		*Контрольная группа / Control group*	
	начало опыта / beginning of the experiment	*окончание опыта / end of the experiment*	*начало опыта / beginning of the experiment*	*окончание опыта / end of the experiment*
Живая масса, кг / Live mass, kg	74,1±2,07	101,8±2,05	75,5±3,08	95,2±3,1
Среднесуточный прирост, кг/ Average daily weight gain, kg	-	0,923±0,07*	-	0,650±0,07
Валовой прирост, кг / Gross increase, kg	-	27,7±2,1*	-	19,7±1,5
Заболело, % / Sick, %	0		30	
Сохранность, % / Survivability, %	100		100	
Летальность, % / Mortality, %	0		0	

* Достоверно в сравнении опыта с контролем при P<0,05
* Significant in comparison of the experiment and control at P<0.05

Среднесуточный прирост живой массы телят в опытной группе превзошел результат в контроле на 0,27 кг (42 %, P<0,05), валовой прирост – на 8 кг (40 %, P<0,05). На более значимый прирост живой массы телят опытной группы повлияли нормализация белкового метаболизма и отсутствие заболеваний на протяжении опыта в отличие от контрольных животных. В контрольной группе 30 % телят болели энтеритом, что также повлияло на среднестатистический прирост массы тела. Больным гастроэнтеритом телятам контрольной группы в течение пяти дней применяли: левомицетин 20 мг/кг в день перорально; бутофан внутримышечно; глюкозу 5%-ную внутривенно; натрия хлорид 0,9%-ный внутривенно. К окончанию эксперимента сохранность телят в обеих группах составила 100 %. Отсутствие больных телят в опытной группе объясняется индивидуальным ежедневным выпаиванием фитобиотика, содержащего в своем составе вещества противовоспалительного (салицилаты), антибактериального (танины, пробиотики) и иммунотропного (флавоноиды) действия[6].

Заключение. Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено, что после применения экспериментального фитобиотика Фитостим-Л телятам в постмолочный период в их крови в сравнении с контролем отмечено увеличение эритроцитов на 9,7 %, гемоглобина – на 18,4 % (P<0,05), общего белка – на 13,1 %, суммарных Ig – на 18,9 % (P<0,05), глобулинов – на 15,8 %, альбуминов – на 10,8 % (P<0,05), снижение активности АЛТ – на 19,1 %, АСТ – на 38,2 % (P<0,05) и концентрации мочевины – на 12,8 % (P<0,05).

[5]Казарцев В. В., Ратошный А. Н. Унифицированная система биохимического контроля за состоянием обмена веществ коров. Зоотехния. 1986;(3):323–330.
[6]Ивановский А. А., Латушкина Н. А., Тимофеев Н. П. Растения как источник фитобиотиков и фармпрепаратов для животных. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2022.136 с.

В опытной группе среднесуточный прирост живой массы телят превзошел аналогичный показатель в контроле на 0,27 кг, больных животных не выявлено. Испытан способ применения Фитостим-Л телятам путем индивидуального выпаивания после разведения в молоке. Данный метод использования фитобиотика повышает его биодоступность для организма

Список литературы

1. Ларина Г. В., Макарюк А. Д. Содержание ряда ценных биологически активных компонентов в растительном лекарственном сырье Горного Алтая. Вестник Томского государственного университета. Химия. 2021;(21):18–31. DOI: https://doi.org/10.17223/24135542/21/2 EDN: WBGRAH

2. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Chapter 11 – Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 187–203. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X

3. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 89–114. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6

4. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative *invitro* and *in vivo* systems. Archives of Toxicology. 2021;95:673–691. DOI: https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6

5. Тарасов А. В., Бухаринова М. А., Хамзина Е. И. Определение антиоксидантной активности водных экстрактов некоторых растений Уральского региона. Индустрия питания. 2018;3(2):31–38. DOI: https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5 EDN: XSVNHN

6. Чугунова О. В., Пастушкова Е. В., Вяткин А. В. Практические аспекты использования плодово-ягодного сырья при создании продуктов, способствующих снижению уровня оксидативного стресса. Индустрия питания. 2017;(2):57–63. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30290643 EDN: ZMWCLH

7. Некрасов Н. В., Боголюбова Н. В., Семенова А. А., Насонова В. В., Полищук Е. К. Влияние дигидрокверцетина на клинические и биохимические показатели крови у свиней в условиях стрессовых нагрузок. Вопросы питания. 2021;90(1):74–84. DOI: https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-74-84 EDN: CCXPSP

8. Хундерякова Н. В., Белослудцева Н. В., Хмиль Н. В., Мосенцов А. А., Степанов М. Р., Ананян М. А., Миронова Г. Д. Исследование влияния водорастворимой формы дигидрокверцетина при его введении *per os* на энергетический обмен в лимфоцитах крови крыс с экспериментальной кардиомиопатией. Вопросы питания. 2021;90(6):50–58. DOI: https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-50-58 EDN: UOVAPO

9. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(4):687–697. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus EDN: UZBLPC

10. Высочина Г. И.,Кукушкина Т. А., Шаладаева Т. М. Содержание основных групп биологически активных веществ в растениях сибирских видов *FILIPENDULA* MILL. Химия растительного сырья. 2014;(2):129–135. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.1402129 EDN: STGQNR

11. Зыкова И. Д., Ефремов А. А. Антирадикальная активность эфирных масел лабазника вязолистного, зверобоя продырявленного и медуницы мягкой флоры Красноярского края. Химия растительного сырья. 2021;(3):211–217. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2021039195 EDN: ZMBTYH

12. Соколов Н. С., Шарипова С. Х., Сазанова К. Н., Лямин А. В. Сравнительная антимикробная активность водных извлечений из надземных органов лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) и лабазника шестилепестного (*Filipendula hexapetala* Gilib.). Аспирантский вестник Поволжья. 2022;22(4):63–68. DOI: https://doi.org/10.55531/2072-2354.2022.22.4.63–68 EDN: VUJXNL

13. Беспалов В. Г.,Бараненко Д. А., Александров В. А., Семенов А. Л., Кованько Е. Г., Иванов С. Д. Химиопрофилактика радиационного канцерогенеза с помощью отвара цветков лабазника вязолистного. Химико-фармацевтический журнал. 2018;52(10):44–46. DOI: https://doi.org/10.30906/0023-1134-2018-52-10-44-46 EDN:YORPHF

14. Pukalskiene M., Venskutonis P. R., Pukalskas A. Phytochemical Characterization of Filipendulaulmaria by UPLC/Q-TOF-MS and Evaluation of Antioxidant Activity. Records of Natural Products. 2015;9(3):451–455. URL: http://acgpubs.org/files/2018080720550857-RNP-1408-177-SI.pdf

15. Lima M. J., Sous D., Lima R. T., Carvalho A. M., Ferreira I. C. F. R., Vasconcrlos M. H. Flower extracts of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim inhibit theproliferation of the NCI-H460 tumour cell line. Industrial Crops and Products. 2014;59:149–153. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.009

16. Kato E., Yama M., Nakagomi R., Hosokawa K., Kawabata J., Substrate-like water soluble lipase inhibitors from Filipendula kamtschatica. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. 2012;22:6410–6412. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.08.055

17. Ивановский А. А. Влияние фитобиотика с экстрактом F. *ulmaria* и лактобактериями на клинико-физиологический статус телят. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):264–272. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.264-272 EDN: GECTAL

References

1. Larina G. V., Makaryuk A. D. Biologically active components in herbal medicinal raw materials of Gorny Altai. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya* = Tomsk State University Journal of Chemistry. 2021;(21):18–31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17223/24135542/21/2

2. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Chapter 11 – Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 187–203. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X

3. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 89–114. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6

4. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative *invitro* and *in vivo* sysems. Archives of Toxicology. 2021;95:673–691. DOI: https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6

5. Tarasov A. V., Bukharinova M. A., Khamzina E. I. Aqueous extracts antioxidant activity determination of some plants from the Ural region. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2018;3(2):31–38. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5

6. Chugunova O. V., Pastushkova E. V., Vyatkin A. V. Practical aspects of the fruit raw material usage while developing products aimed at oxidative stress decrease. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2017;(2):57–63. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30290643

7. Nekrasov R. V., Bogolyubova N. V., Semenova A. A., Nasonova V. V., Polishchuk E. K. Dihydroquercetin influence on clinical and biochemical blood parameters of pigs under conditions of stress load. *Voprosy pitaniia* = Problems of Nutrition. 2021;90(1):74–84. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-74-84

8. Khunderyakova N. V., Belosludtseva N. V., Khmil N. V., Mosentsov A. A., Stepanov M. R., Ananyan M. A., Mironova G. D. Effect of per os administration of dihydroquercetin aqueous form on energy exchange in blood lymphocytes of rats with experimental cardiomyopathy. *Voprosy pitaniia* = Problems of Nutrition. 2021;90(6):50–58. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-50-58

9. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. Use of phytobioticts in farm animal feeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2018;53(4):687–697. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus

10. Vysochina G. I., Kukushkina T. A., Shaladaeva T. M. The content of the main groups of biologically active substances in plants of Siberian species *FILIPENDULA* MILL. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2014;(2):129–135. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.1402129

11. Zykova I. D., Efremov A. A. Antiradical activity of essential oils of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim, *Hypericum perforatum* L. and *Pulmonaria mollis* wulfen ex hornem of the Krasnoyrsk territori flora. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2021;(3):211–217. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2021039195

12. Sokolov N. S., Sharipova S. Kh., Sazanova K. N., Lyamin A. V. A Comparative evaluation of the antimicrobial activity of aqueous extracts from aerial organs of meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) and dropwort (*Filipendula hexapetala* Gilib.). *Aspirantskiy vestnik Povolzh'ya*. 2022;22(4):63–68. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55531/2072-2354.2022.22.4.63-68

13. Bespalov V. G., Baranenko D. A., Aleksandrov V. A., Semenov A. L., Kovan'ko E. G., Ivanov S. D. Chemoprevention of radiation-induced carcinogenesis using the decoction of meadowsweet flowers. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2018;52(10):44–46. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30906/0023-1134-2018-52-10-44-46

14. Pukalskiene M., Venskutonis P. R., Pukalskas A. Phytochemical Characterization of Filipendulaulmaria by UPLC/Q-TOF-MS and Evaluation of Antioxidant Activity. Records of Natural Products. 2015;9(3):451–455. URL: http://acgpubs.org/files/2018080720550857-RNP-1408-177-SI.pdf

15. Lima M. J., Sous D., Lima R. T., Carvalho A. M., Ferreira I. C. F. R., Vasconcrlos M. H. Flower extracts of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim inhibit theproliferation of the NCI-H460 tumour cell line. Industrial Crops and Products. 2014;59:149–153. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.009

16. Kato E., Yama M., Nakagomi R., Hosokawa K., Kawabata J., Substrate-like water soluble lipase inhibitors from Filipendula kamtschatica. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. 2012;22:6410–6412. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.08.055

17. Ivanovsky A. A. The influence of a phytobiotic with F. *ulmaria* extract and lactobacilli on the clinical and physiological status of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agrarian Science of Euro-North-East. 2024;25(2):264–272. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.264-272

Сведения об авторе

✉ **Ивановский Александр Александрович**, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ветбиотехнологии, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2984-7219**, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Information about the authors

✉ **Alexander A. Ivanovsky,** DSc in Veterinary Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Veterinary Technology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2984-7219**, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.404–414
УДК 631.363.7:535.65.083.6

Применение метода водораздела при определении размеров пересекающихся частиц измельченного зерна

© 2025. С. Ю. Булатов[1]✉, В. Г., Крестинков[1], Г. С. Малышев[2], О. А. Тареева[1], А. Е. Шамин[1]

[1]*ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация,*

[2]*АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И. И. Африкантова», г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Определение гранулометрического состава измельченного зерна имеет важное значение при кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. Традиционно применяется ситовой метод определения гранулометрического состава. С развитием современных цифровых технологий появилась возможность определения гранулометрического состава зерна без использования специальных рассевов. Предложен способ, позволяющий определить размеры частиц измельченного зерна с применением цветовой кластеризации и морфологической сегментации. Но данный способ не решает проблемы наложения частиц, когда несколько соприкасающихся компонентов воспринимаются как одна большая частица, что в конечном итоге влияет на конечный результат анализа и дает серьезную погрешность относительно традиционного способа рассевом. В связи с этим было решено усовершенствовать способ путём дополнительного анализа изображения методом водораздела. В статье представлены результаты оценки размеров частиц измельченного зерна при их пересечении и наложении друг на друга. Методика определения размеров заключалась в реализации следующих операций: получение изображения; энтропийная фильтрация полутонового изображения; вычисление среднего значения цвета для каждого цветового кластера изображения; построение уточнённой бинарной маски; вычисление градиентного представления изображения с зёрнами; вычисление маркеров переднего плана изображения; вычисление фоновых маркеров; удаление из градиентного представления изображения всех локальных минимумов яркости вне построенных маркеров; применение метода водораздела; определение площади и максимального диаметра Ферета и сортировка всех областей по размеру. В результате анализа изображений частиц измельченного зерна по предложенной методике построены гистограммы распределения частиц по их площадям и длинам. Выявлена сложность оценки размеров измельченного зерна существующими классическими методами и установлено, что метод водораздела дает достаточно высокую погрешность (около 32 %) при определении площади частиц, но может быть применен при определении линейных размеров частиц, через которые можно выразить их эквивалентный диаметр.

Ключевые слова: *гранулометрический состав, диаметр Ферета, обработка изображений, пересечение, площадь, фон, цветовая сегментация, цветовое пространство*

Благодарности: исследование выполнено без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Булатов С. Ю., Крестинков В. Г., Малышев Г. С., Тареева О. А., Шамин А. Е. Применение метода водораздела при определении размеров пересекающихся частиц измельченного зерна. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):404–414. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.404-414

Поступила: 20.02.2025 Принята к публикации: 03.04.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

Using the watershed method in determining the size of intersecting particles of crushed grain

© 2025. Sergey Yu. Bulatov ✉ , Vasily G. Krestinkov[1], Grigory S. Malyshev[2], Oksana A. Tareeva[1], Anatoly E. Shamin[1]

[1]*Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation*

[2]*JSC "I. I. Afrikantov Experimental Design Bureau of Mechanical Engineering", Nizhny Novgorod, Russian Federation*

The determination of the granulometric composition of ground grain is of great importance when feeding farm animals and poultry. The sieve method of determining the granulometric composition is traditionally used. With the development of modern digital technologies, it has become possible to determine the granulometric composition of grain without using special sieves. We have proposed a method for determining the particle sizes of crushed grain using color clustering and morphological segmentation. However, this method does not solve the problem of particle overlap, when several contacting components are perceived as one large particle, which ultimately affects the final result of the analysis and gives a serious error relative to the traditional sieving method. In this regard, it was decided to improve the method by additional image analysis using the watershed method. The article presents the results of estimating the particle sizes of crushed grain when they intersect and overlap each other. The sizing technique consisted in the implementation of the following operations: image acquisition; entropy filtering of a grayscale image; calculation of the average color value for each color cluster of the image; construction of a refined binary mask; calculation of the gradient representation of the image with grains; calculation of foreground markers; calculation of background markers; removal from the gradient representation of the image all local brightness minima outside the constructed markers; application of the watershed method; determination of the area and maximum diameter of the Feret and sorting of all areas by size. As a result of the analysis of images of crushed grain particles, histograms of the particle distribution by their areas and lengths were constructed according to the proposed method. The complexity of estimating the size of crushed grain by existing classical methods has been revealed and it has been established that the watershed method gives a sufficiently high error (about 32 %) in determining the particle area, but can be used to determine the linear particle sizes through which their equivalent diameter can be expressed.

Keywords: *granulometric composition, diameter of the Feret, image processing, intersection, area, background, color segmentation, color space*

Acknowledgements: the study was carried out without financial support within the framework of an initiative topic. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Bulatov S. Yu., Krestinkov V. G., Malyshev G. S., Tareeva O. A., Shamin A. E. Using the watershed method in determining the size of intersecting particles of crushed grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):404–414. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.404-414

Received: 20.02.2025 Accepted for publication: 03.04.2025 Published online: 29.04.2025

Современные рационы сельскохозяйственных животных не обходятся без такого важного компонента как концентрированные корма [1, 2, 3]. Однако в цельном виде скармливание концкормов не осуществляют в силу особенностей физиологии животных, и для лучшего усвоения таких кормов их предварительно измельчают. Перед скармливанием измельченного зерна проводят оценку его гранулометрического состава о соответствии данной группе животных [4]. ГОСТами прописана методика и требования к определению гранулометрического состава измельченного зерна для конкретных групп животных и птицы, которые предполагают применение набора соответствующих сит и рассев на них отобранных проб [5, 6, 7]. С развитием современных цифровых технологий появилась возможность определения гранулометрического состава зерна без использования специальных рассевов. Нами предложен способ, позволяющий определить размеры частиц измельченного зерна с применением цветовой кластеризации [8] и морфологической сегментации [9, 10]. Однако данный способ не решает проблемы наложения частиц, когда несколько соприкасающихся компонентов воспринимаются как одна большая частица, что в конечном итоге влияет на конечный результат анализа и дает серьезную погрешность относительно традиционного способа рассевом.

Цель исследования – оценить возможность определения размеров пересекающихся частиц измельченного зерна при проведении анализа его гранулометрического состава методом цифровой обработки изображений.

Научная новизна – предложена методика определения размеров пересекающихся частиц измельченного зерна при проведении анализа его гранулометрического состава методом цифровой обработки изображений.

Материал и методы. *Выделение компонентов смеси с помощью цветовой сегментации в Lab пространстве.* В работе [8] подробно рассказано о применении цветовой кластеризации в Lab пространстве при оценке размеров зерна.

Однако в анализируемой пробе измельченного зерна имеется огромное количество частиц, поэтому становится проблематично исключить соприкосновение и пересечение зёрен на рабочей поверхности. Для определения границ разделения зёрен решено использовать метод водораздела [11], который используется в случае градиентного представления изображения [12] с целью эффективного выделения границ объектов на анализируемом изображении. Именно на этих границах предполагается построение водоразделов.

В целом методика определения размеров пересекающихся частиц измельченного зерна при проведении анализа его гранулометрического состава заключается в следующем:

- получение изображения измельченных частиц;
- энтропийная фильтрация полутонового изображения с зерном с целью построения грубой бинарной маски, захватывающей часть фона (данный пункт реализуется только в том случае, если в пределах зёрен есть цветовые кластеры, ядра которых близки к цвету фона);
- вычисление среднего значения цвета для каждого цветового кластера изображения;
- построение уточнённой бинарной маски для отделения измельчённого зерна от фона;
- вычисление функции сегментации, под которой понимается градиентное представление изображения;
- вычисление маркеров переднего плана изображения, под которыми понимаются связные области на бинарной маске, соответствующие внутренним областям водосбросных бассейнов градиентного представления;
- вычисление фоновых маркеров, являющихся в грубом приближении водораздельными линиями;
- удаление из градиентного представления изображения всех локальных минимумов яркости вне построенных маркеров;
- применение метода водораздела по отношению к скорректированному градиентному представлению.

Для получения маски с маркерами применяли операции морфологической эрозии и расширения [13]. Для этого использовали функции imerode (для размытия) и imdilate (для расширения) пакета MATLAB[1]. В настоящем исследовании для реализации размытия и расширения использовали окно размером 12 x 12, состоящее из булевых единиц true. Морфологическое размытие использовали совместно с функцией морфологической реконструкции imreconstruct[2], которая принимает в качестве первого аргумента матрицу, полученную после морфологического размытия, а в качестве второго аргумента – полутоновое изображение исходного.

В случае неудовлетворительного результата при использовании пороговой сегментации к полутоновому изображению применяли энтропийную фильтрацию. Энтропия позволяет количественно оценить текстуру областей изображения (гладкая, грубая, зернистая и т. д.), а также выявить нарушение равномерной структуры изображения и определяется[3]:

$$E = -\sum_{i=0}^{L-1} p(z_i)\, log_2\, p\,(z_i), \qquad (1)$$

где z_i – случайная величина, соответствующая яркости элементов изображения, $p\,(z_i)$, $i = 0, 1, 2, \ldots, L-1$ – её нормированная гистограмма, где L означает число различных уровней яркости (для полутонового изображения $L = 256$).

В нашей задаче интересна локальная энтропия, то есть энтропия, вычисленная в пределах некоторого окна: на изображении выделяется прямоугольная область размером M на N пикселей, затем на эту область накладывается матрица (окно) того же размера[4]. В каждой ячейке матрицы хранятся булевы значения: логический ноль или логическая единица. Для вычисления локальной энтропии также используется формула (1), однако, гистограмма строится только для области изображения в пределах окна, причём пиксели, которым соответствует логический ноль окна (false), не участвуют в построении гистограммы.

[1]Marques O., Borba G. B. Image Processing Recipes in MATLAB. New York: Chapman and Hall/CRC, 2024. 248 с. DOI: https://doi.org/10.1201/9781003170198
[2]Там же.
[3]Там же
[4]Там же.

В пакете MATLAB есть функция entropyfilt[5], реализующая энтропийную фильтрацию. Данная функция возвращает двумерную матрицу с элементами типа double. Для дальнейшей пороговой обработки такой матрицы и более качественной визуализации распределения энтропии необходимо предварительно пронормировать её элементы с помощью следующей формулы:

$$R_i = \frac{E_i - E_{min}}{Emin_{max}},$$

где R_i – его нормированное значение;
E_i – текущий элемент указанной матрицы;
E_{min}, E_{max} – минимальный и максимальный элементы матрицы, полученной после энтропийной фильтрации.

В результате нормировки мы получим матрицу, элементы которой будут иметь значения в диапазоне от 0 до 1. Для реализации такой нормировки в пакете MATLAB предусмотрена функция rescale[6]. Визуализация данной матрицы реализуется функцией imshow. В дальнейшем под изображением, полученным путём энтропийной фильтрации, мы будем подразумевать матрицу, возвращаемую функцией rescale.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрен самый сложный случай, когда площади зёрен много меньше площади кадра, при этом зёрна соприкасаются друг с другом. Более того, зёрна имеют сложную структуру: в пределах одного зерна можно выделить два цветовых кластера – условно жёлтый и белый. Белый кластер зёрен практически не отличим по цвету от белого фона (рис. 1). Результат цветовой сегментации такого изображения показан на рисунке 2. Для случая практически белых зёрен на белом фоне качество сегментации значительно ухудшилось: часть фона осталась «не закрыта» маской. Для решения данной проблемы было решено использовать пороговую сегментацию с последующим использованием цветовой сегментации. Непосредственное применение пороговой сегментации к полутоновому изображению не дало никаких преимуществ, поэтому сначала была реализована энтропийная фильтрация[7].

Рис. 1. **Изображение с соприкасающимися частицами измельченного зерна разной формы /**
Fig. 1. **An image with touching particles of crushed grain of different shapes**

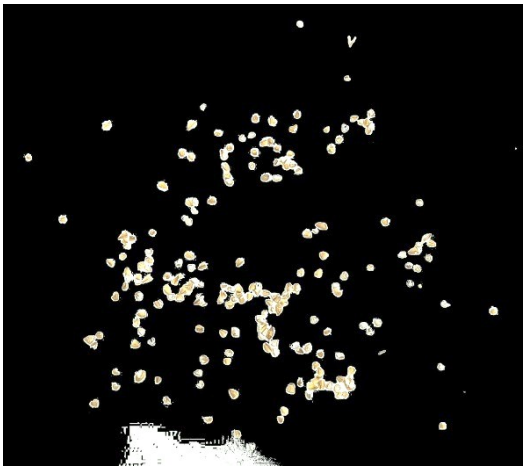


Рис. 2. **Маска, построенная для изображения на рисунке 1 с помощью метода цветовой сегментации в Lab пространстве /**
Fig. 2. **Mask constructed for the image in figure 1 using the color segmentation method in Lab space**

На рисунке 3 показан результат энтропийной фильтрации для случая, когда скользящее окно представляет из себя матрицу 9 x 9 с логическими единицами.

Результат пороговой сегментации изображения на рисунке 3 представлен на рисунке 4 (величина порога яркости была выбрана 0.5). Далее из полученной маски с помощью морфологических операций[8] удаляли все мелкие связные области (меньше 300 пикселей), затем делалась инверсия маски с последующим удалением связных областей, меньших 150 пикселей. Результат повторной инверсии полученной маски показан на рисунке 5 (маска наложена на исходное изображение). Именно к изображению, представленному на рисунке 5, применим цветовую сегментацию.

[5]Marques O., Borba G. B. Указ. соч.
[6]Там же.
[7]Там же.
[8]Там же

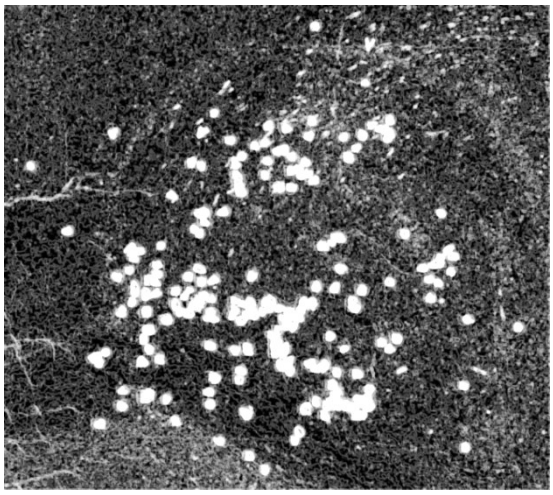


Рис. 3. **Результат энтропийной фильтрации, примененной к полутоновому изображению, показанному на рисунке 1 /**

Fig. 3. **The result of entropy filtering applied to the halftone image obtained from figure 1**

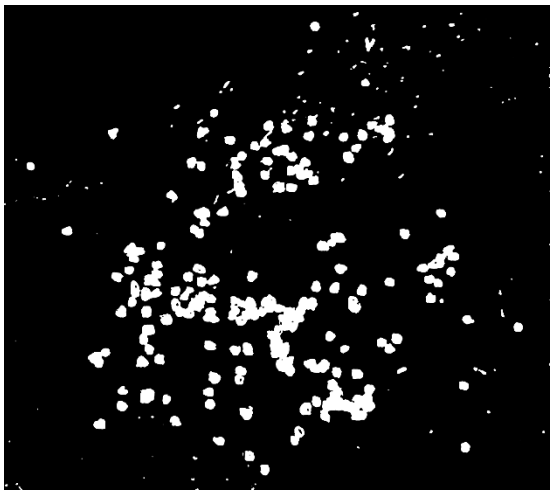


Рис. 4. **Бинаризация изображения на рисунке 3 с порогом 0.5 /**

Fig. 4. **Binarization of the image in figure 3 with a threshold of 0.5**

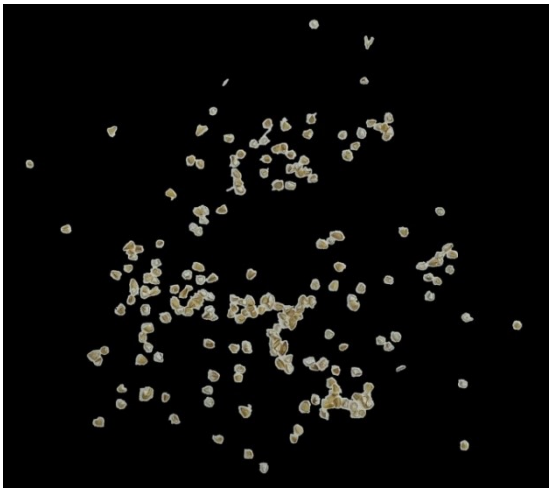


Рис. 5. **Маска, полученная из бинарного изображения на рисунке 4 после удаления малых связных областей и дыр /**

Fig. 5. **Mask obtained from the binary image in figure 4 after removing small connected areas and holes**

Рис. 6. **Область, выделенная на изображении рисунка 5 с целью определения ядер цветовых кластеров /**

Fig. 6. **The area highlighted in the image in figure 5 for the purpose of determining the cores of color clusters**

Для определения ядер цветовых кластеров выделим на изображении рисунка 5 область, показанную на рисунке 6. Маски, построенные вручную для «жёлтого» зерна, «белого» зерна и фона (маска для чёрной области не показана) даны на рисунке 7. Вычисляя среднее значение цвета в пределах масок (рис. 7), определяем ядра цветовых кластеров и производим цветовую сегментацию для изображения на рисунке 5. Результат представлен на рисунке 8.

При сравнении рисунков 2 и 8 видно, что предварительное использование энтропийной фильтрации позволяет улучшить отделение зёрен от фона. Однако, часть «белых» зёрен оказывается «накрыта» маской. Тем не менее, по оставшейся «жёлтой» части вполне можно оценить размер исходного зерна.

Применим метод водораздела для изображения на рисунке 8. Для предварительной обработки полутонового изображения использовали медианную фильтрацию с окном 3 x 3, а также операции морфологической эрозии (размытия) и расширения[9] [14]. Для обеих операций применяли окна размером 4 x 4 с элементами true (структурный элемент strel(ones(4)) в MATLAB[10]).

[9]Marques O., Borba G. B. Указ. соч.
[10]Там же.

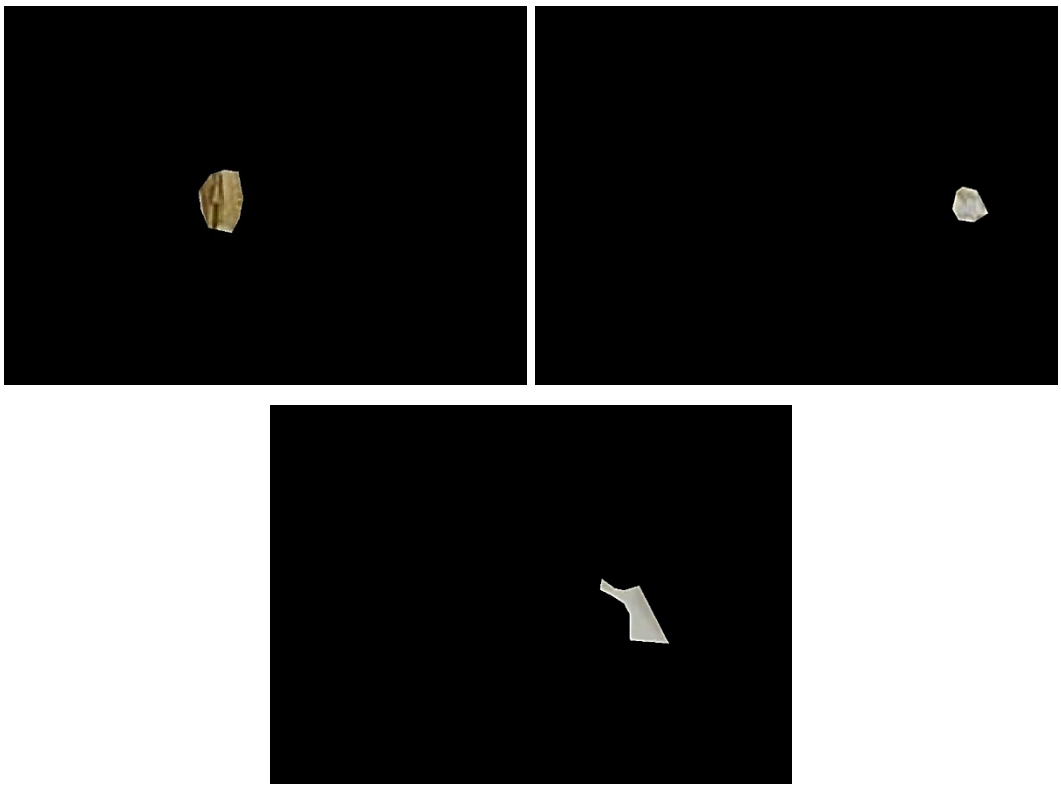


Рис. 7. **Маски, построенные вручную для определения цветовых ядер «жёлтого» зерна, «белого» зерна и фона и наложенные на изображение рисунка 6 /**

Fig. 7. **Masks constructed manually to define the color cores of the "yellow" grain, "white" grain, and background and superimposed on the image of figure 6**

После выявления региональных максимумов (функция imregionalmax пакета MATLAB) на предварительно обработанном изображении к полученному бинарному изображению была применена операция морфологического закрытия с окном 6 x 6 (strel (ones(6))). Для указанных параметров окон метод водораздела позволил получить результат, представленный на рисунке 9.

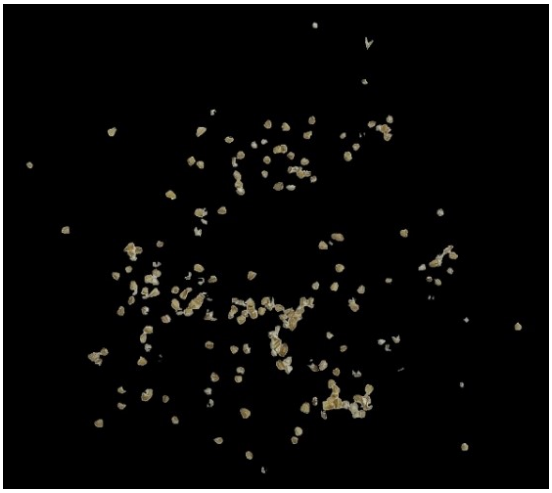


Рис. 8. **Результат цветовой сегментации изображения 5, выполненный после построения масок рисунка 7**

Fig. 8. **The result of color segmentation of image 5, performed after constructing the masks of figure 7**

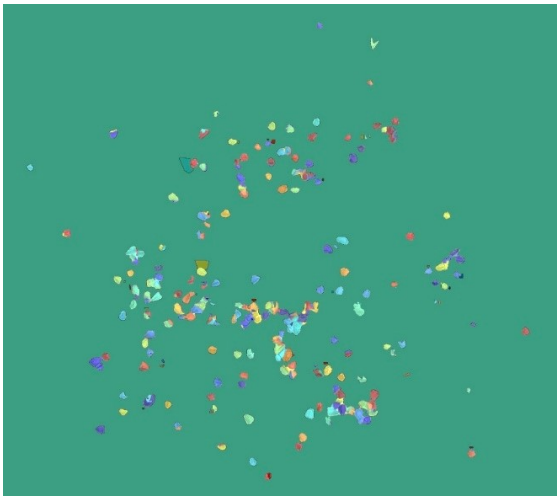


Рис. 9. **Результат сегментации изображения рисунка 8 методом водораздела /**

Fig. 9. **The result of segmentation of the image in figure 8 using the watershed method**

В силу малости площади зёрен по сравнению с площадью кадра достаточно сложно зрительно оценить результат, представленный на рисунке 9. Поэтому выделим область изображения, в пределах которой зёрна пересекаются чаще всего (рис. 10).

Из рисунка 11, на котором показаны водоразделы, становится понятен основной недостаток метода водораздела при анализе зёрен сложной структуры: в пределах одного зерна метод может выделить несколько связных областей. То есть цветовые кластеры в пределах одного зерна с высокой долей вероятности будут разделены, в результате чего одно зерно воспринимается программой как группа зёрен. Такое дробление вносит высокую погрешность в гранулометрические измерения.

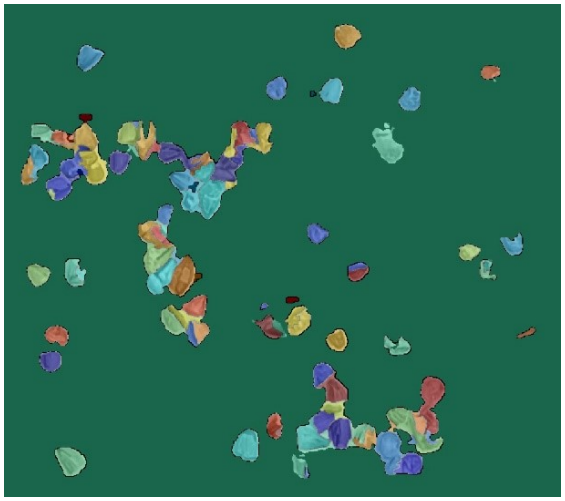


Рис. 10. **Небольшой участок изображения на рисунке 9, увеличенный с целью более наглядной демонстрации сегментации изображения рисунка 8 методом водораздела /**

Fig. 10. **A small section of the image in figure 9, enlarged to better demonstrate the segmentation of the image in figure 8 using the watershed method**

Рис. 11. **Водоразделы, наложенные на рисунке 10 /**
Fig. 11. **Watersheds superimposed on figure 10**

Для случая, представленного рисунке 1, достаточно сложно сформулировать критерии, позволяющие исключить из рассмотрения «ложные» зёрна, под которыми понимаются области внутри водоразделов, объединяющие сразу несколько зёрен или захватывающие только часть площади зерна/зёрен. Если в пределах «истинного» зерна находятся несколько водоразделов (это как раз случай нескольких цветовых кластеров в пределах зерна), то связные области внутри таких водоразделов также считаются ложными компонентами смеси. Наконец, к ложным зёрнам можно отнести области внутри водоразделов, захватывающие большие участки фона. Сложность выявления «ложных» зёрен связана с тем, что размеры и форма компонентов смеси (рис. 1) могут значительно различаться, поэтому будет существенен разброс длин и площадей.

В случае, представленном на рисунке 1, для отбраковки ложных зёрен имеет смысл учитывать форму связных областей, полученных методом водораздела. Например, на рисунке 12 цветом показаны примеры связных областей, форма которых явно не похожа на форму зёрен. Такие области необходимо удалять из маски. Однако выделение областей по признаку их формы – это отдельная сложная задача, которая не рассматривается в рамках настоящей статьи.

Рассмотрим гистограммы распределения связных областей, выделенных на рисунке 9, по их площадям (рис. 13, а) и длинам (рис. 13, б). Диапазоны изменения площадей и длин делили на 30 сегментов. Гистограмма по площадям не может дать объективных данных для гранулометрического анализа, так как площади построенных связных областей (рис. 9) существенно зависят от их геометрии. А, как было сказано выше, геометрия областей, полученных методом водораздела, может существенно отличаться от геометрии «истинных» зёрен. Более того, дробление целых зёрен на отдельные связные области приводит к тому, что количество зёрен с малой площадью должно быть завышено, что и наблюдается на гистограмме рисунка 13, а.

Рис. 12. **Примеры «ложных» зёрен, форма которых существенно отличается от естественной /**
Fig. 12. **Examples of "false" grains, the shape of which differs significantly from the natural one**

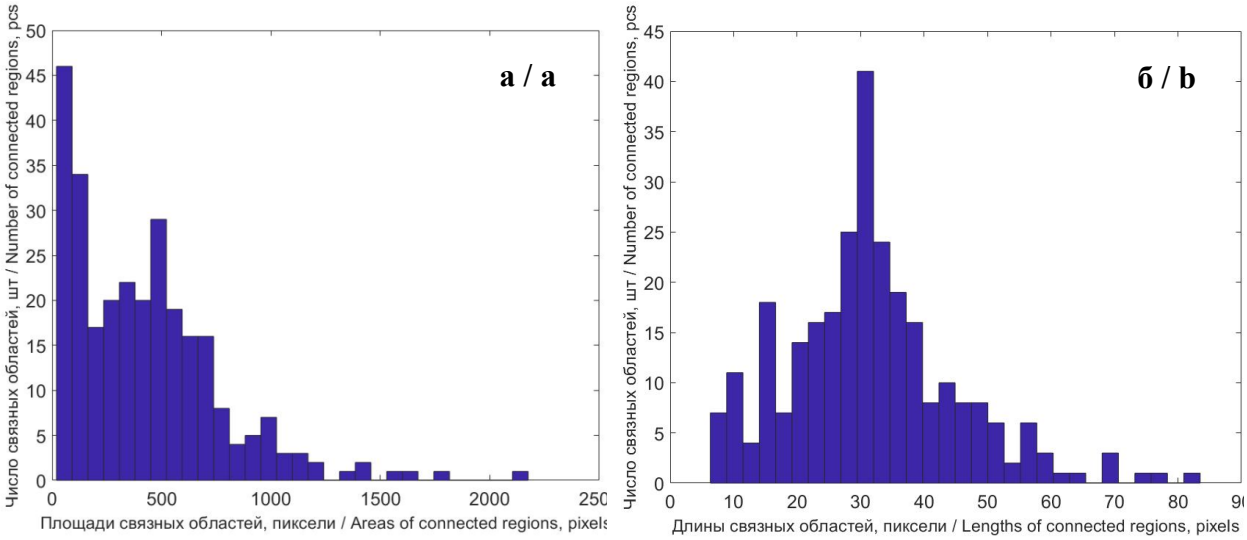
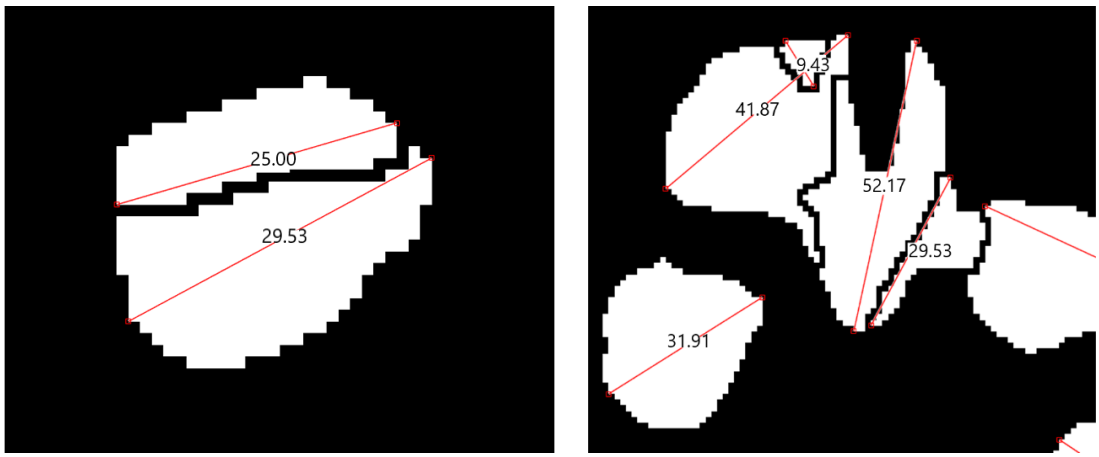


Рис. 13. **Гистограмма распределения связных областей, представленных на рисунке 9: а – по площадям; б – по длинам /**
Fig. 13. **Histogram of the distribution of connected regions, presented in figure 9: a – by area; b – by length**

Тем не менее, гистограмму рисунка 13, а можно скорректировать, если известна статистика распределения зёрен по площадям, полученная в ходе других экспериментов. Такую статистику можно получить с высокой точностью для случая, когда зёрна не пересекаются, и при этом фон, на котором они находятся, отличается от белого. В результате множества экспериментов можно построить гипотезу о распределении зёрен по площадям для конкретного вида смеси. Зная данное распределение, можно убрать столбцы на гистограмме рисунка 13, а, нарушающие гипотезу о распределении. Из маски рисунка 9 нужно будет исключить связные области, соответствующие удалённым столбцам.

Что касается гистограммы по максимальным диаметрам Ферета, то она в грубом приближении даёт представление о гранулометрическом составе смеси, показанной на рисунке 1. Дело в том, что хоть связные области рисунка 9 имеют форму, отличную от формы реальных зёрен, максимальные их длины вполне сопоставимы с длинами реальных зёрен, что демонстрируется примерами на рисунке 14, а – зерно сегментировано на два «ложных» зерна. Хорошо видно, что оба ложных зерна имеют длину, сопоставимую с истинной длиной исходного зерна, в то время как площадь более мелкого «ложного» зерна будет почти в три раза меньше площади истинного зерна. На рисунке 14, б показана связная область, имеющая длину 52 пикселя. Хоть исходное зерно имеет другую геометрию и площадь, очевидно, что измеренная длина практически совпадает с длиной истинного зерна.



а / a **б / b**

Рис. 14. **Связные области, длины которых сопоставимы с длинами реальных зёрен: а – зерно, сегментированное на два «ложных» зерна; б – связная область с длиной 52 пикселя /**

Fig. 14. **Connected regions whose lengths are comparable to the lengths of real grains: a – grain segmented into two "false" grains; b – connected region with a length of 52 pixels**

Также надо отметить, что по данным гистограмм рисунка 13 вполне можно определить ложные зёрна с большими площадями и длинами. Они соответствуют правым частям гистограмм. Таких зёрен крайне мало (это видно из рис. 13), то есть они выпадают из статистики и могут быть исключены из маски, представленной на рисунке 9. На рисунке 15 в качестве примера показаны два ложных зерна с длинами, превышающими 75 пикселей. Из рисунка 13, б видно, что эти зёрна соответствуют последним столбцам гистограммы, что и подтверждает их «ложный статус». Действительно, рассмотренный случай соответствует ситуации, когда водораздел охватил несколько реальных зёрен.

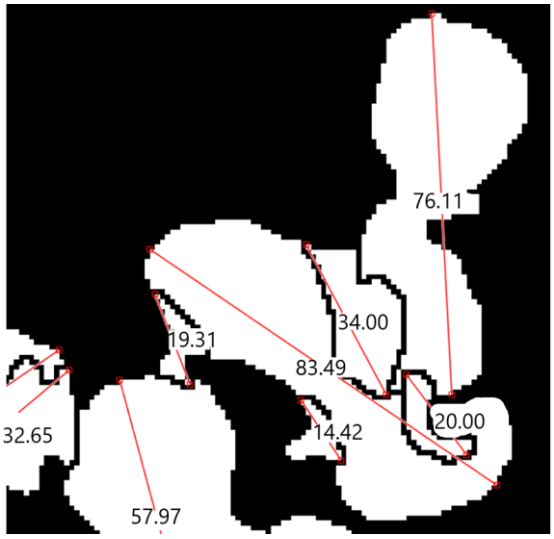


Рис. 15. **Пример двух ложных зёрен с длинами, превышающими 75 пикселей /**

Fig. 15. **Example of two false grains with lengths exceeding 75 pixels**

Нами был рассмотрен наиболее сложный случай, когда частицы измельченного зерна имеют цвет, близкий к цвету фона. При этом определено, что при использовании метода водораздела в данном случае участвуют 68 % анализируемых частиц. То есть погрешность в данном случае составила 32 %. Повысить точность применения данного метода возможно за счет применения наиболее оптимального цвета фона.

Заключение. Проведенное исследование показало сложность оценки размеров измельченного зерна существующими классическими методами цифровой обработки изображений. Метод водораздела дает достаточно высокую погрешность (около 32 %) при определении площади частиц в случае близкого цветового соотношения частиц зерна и фона. Однако может быть применен при определении линейных размеров частиц, через которые можно выразить их эквивалентный диаметр.

Список литературы

1. Абуов С. К., Бабаджанова Н. Современные аспекты кормления молочных коров. Eo ipso. 2023;(10):89–90. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=54623135 EDN: XGXZPM

2. Бурда Т. М. Анализ способов приготовления и раздачи кормовых смесей. Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: мат-лы всеросс. студ. научн.-практ. конф. В IV томах. п. Молодежный. Иркутск: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2022. С. 182–189.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=49081866 EDN: LJXJLC

3. Ефимова Д. В., Фёдоров В. Г., Мануриков Я. Н. Кормление скота при роботизированном доении. Актуальные вопросы в развитии агропромышленного, химического и лесного комплексов: сб. тез. научн.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Великий Новгород: Новгородский ГУ имени Ярослава Мудрого, 2021. С. 115–117. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=48169518&pff=1 EDN: LKZHKI

4. Тунгучбекова Ж. Т., Ибраева Ж., Мурзубраимов Б. М., Ысманов Э. М., Шабданова Э. А. Определение гранулометрического состава фильтрационного кека методом ситового анализа. Бюллетень науки и практики. 2023;9(5):388–394. DOI: https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/48 EDN: DFQQFE

5. Абалихин А. М., Барабанов Д. В., Крупин А. В., Муханов Н. В. Оценка эффективности работы центробежного измельчителя фуражного зерна. АгроЭкоИнженерия. 2024;(1(118)):43–57.
DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-43-56 EDN: CVRDZZ

6. Сабиев У. К., Садов В. В. Показатели эффективности измельчителей фуражного зерна. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021;(6(200)):93–99. Режим доступа: https://elibrary.ru/bszfpo EDN: BSZFPO

7. Савиных П. А., Турубанов Н. В., Мошонкин А. М. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров молотковой дробилки с решетами в торцевых поверхностях. Агроинженерия. 2023;25(5):17–22. DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22 EDN: CZVEEL

8. Иванов Ю. А., Булатов С. Ю., Тареева О. А., Малышев Г. С. Применение метода цветовой сегментации в задаче определения однородности кормосмеси. Техника и технологии в животноводстве. 2024;(1(53)):54–63.
DOI: https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-54 EDN: MPNWEK

9. Mohanty S. S., Tripathy S. Application of Different Filtering Techniques in Digital Image Processing. Journal of Physics: Conference Series. 2021;2062:012007. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2062/1/012007

10. Pierre F., Amendola M., Bigeard C., Ruel T., Villard P.-F. Segmentation with Active Contours. Image Processing On Line. 2021;1:120–141. DOI: https://doi.org/10.5201/ipol.2021.298

11. Mohanty S. S., Tripathy S. Application of Watershed Algorithm in Digital Image Processing. Proceedings of the 6th International Conference on Advance Computing and Intelligent Engineering. 2022;428:401–410.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2225-1_36

12. Wu Y., Li Q. The algorithm of watershed color image segmentation based on morphological gradient. Sensors. 2022;22(21):8202. DOI: https://doi.org/10.3390/s22218202

13. Said K.A.M., Jambek A. B. Analysis of Image Processing Using Morphological Erosion and Dilation. Journal of Physics: Conference Series. 2021;2071:012033. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2071/1/012033

14. Zou L., Song L.-T., Weise T., Wang X.-F., Huang Q.-J., Deng R., Wu Z.-Z. A survey on regional level set image segmentation models based on the energy functional similarity measure. Neurocomputing. 2021;452:606–622.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.141

References

1. Abuov S. K., Babadzhanova N. Modern aspects of dairy cow feeding. Eo ipso. 2023;(10):89–90. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54623135

2. Burda T. M. Analysis of methods of preparation and distribution of feed mixtures. Scientific research of students in solving urgent problems of the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian student scientific- practical conference. In IV vol. Molodezhny. Irkutsk: *Irkutskiy GAU im. A. A. Ezhevskogo*, 2022. pp. 182–189.
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49081866

3. Efimova D. V., Fedorov V. G., Manurikov Ya. N. Feeding livestock with robotic milking. Current issues in the development of agro-industrial, chemical and forestry complexes: collection of abstracts of scientific research-practical conference of young scientists and specialists. Velikiy Novgorod: *Novgorodskiy GU imeni Yaroslava Mudrogo*, 2021. pp. 115–117. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48169518&pff=1

4. Tunguchbekova Zh. T., Ibraeva Zh., Murzubraimov B. M., Ysmanov E. M., Shabdanova E. A. Determination of the particular composition of the filter cake by the sieve method. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2023;9(5):388–394. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/48

5. Abalikhin A. M., Barabanov D. V., Krupin A. V., Mukhanov N. V. Evaluation of performance efficiency of centrifugal feed grain grinder. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(1(118)):43–57. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-43-56

6. Sabiev U. K., Sadov V. V. Feeding grain grinder efficiency indices. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021;(6(200)):93–99. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/bszfpo

7. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Moshonkin A. M. Determination of optimal design and technological parameters of a hammer crusher with sieves in end surfaces. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2023;25(5):17–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22

8. Ivanov Yu. A., Bulatov S. Yu., Tareeva O. A., Malyshev G. S. Application of the color segmentation method at the feed mixture uniformity determination task. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2024;(1(53)):54–63. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-54

9. Mohanty S. S., Tripathy S. Application of Different Filtering Techniques in Digital Image Processing. Journal of Physics: Conference Series. 2021;2062:012007. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2062/1/012007

10. Pierre F., Amendola M., Bigeard C., Ruel T., Villard P.-F. Segmentation with Active Contours. Image Processing On Line. 2021;1:120–141. DOI: https://doi.org/10.5201/ipol.2021.298

11. Mohanty S. S., Tripathy S. Application of Watershed Algorithm in Digital Image Processing. Proceedings of the 6th International Conference on Advance Computing and Intelligent Engineering. 2022;428:401–410. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2225-1_36

12. Wu Y., Li Q. The algorithm of watershed color image segmentation based on morphological gradient. Sensors. 2022;22(21):8202. DOI: https://doi.org/10.3390/s22218202

13. Said K.A.M., Jambek A. B. Analysis of Image Processing Using Morphological Erosion and Dilation. Journal of Physics: Conference Series. 2021;2071:012033. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2071/1/012033

14. Zou L., Song L.-T., Weise T., Wang X.-F., Huang Q.-J., Deng R., Wu Z.-Z. A survey on regional level set image segmentation models based on the energy functional similarity measure. Neurocomputing. 2021;452:606–622. DOI: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.141

Сведения об авторах

✉ **Булатов Сергей Юрьевич**, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры «Технические системы и технологии», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-9099-0447**, e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Крестинков Василий Георгиевич, аспирант, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru

Малышев Григорий Сергеевич, инженер-конструктор, АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И. И. Африкантова», Бурнаковский проезд, 15, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 606340, e-mail: gr1g0r@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0466-9003**

Тареева Оксана Александровна, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технические системы и технологии», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2682-1216**

Шамин Анатолий Евгеньевич, доктор экон. наук, профессор, профессор кафедры «Экономика и автоматизация бизнес-процессов», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2382-274X**

Information about the authors

✉ **Sergey Yu. Bulatov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Service, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Oktyabrskaya str., 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-9099-0447**, e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Vasily G. Krestinkov, Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Oktyabrskaya str., 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru

Grigory S. Malyshev, Design Engineer, JSC "I. I. Afrikantov Experimental Design Bureau of Mechanical Engineering", Burnakovsky Proezd, 15, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 606340, e-mail: gr1g0r@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0466-9003**

Oksana A. Tareeva, **PhD in Engineering**, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems and Technologies, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Oktyabrskaya str., 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2682-1216**

Anatoly E. Shamin, DSc in Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Automation of Business Processes, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Oktyabrskaya str., 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, 606340, e-mail: ngiei-126@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2382-274X**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.415–425
УДК 631.319.06

Результаты исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата с комплектом сменных адаптеров

© 2025. С. Л. Дёмшин✉, Д. А. Зырянов, Д. И. Тимшин
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработана базовая модель почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами в виде плоскорежущих или культиваторных лап, комбинация которых с дисковыми секциями позволяет качественно с соблюдением основных агротехнических требований выполнять основную безотвальную обработку почвы на 14-25 см и комплекс операций предпосевной обработки почвы на 5–14 см. Дальнейшее развитие конструкции агрегата направлено на повышение качества обработки поверхностного слоя почвы посредством оснащения базовой модели сменными адаптерами для дополнительной обработки почвы. Первоначально для исследований изготовлен комплект сменных адаптеров, включающий следующие виды прикатывающих катков: трубчатый, спирально-трубчатый, прутковый и планчато-зубовый. Цель исследований – оценка эффективности использования агрегата со сменными адаптерами для обработки поверхностного слоя почвы при выполнении основной безотвальной и мелкой почвообработки. Исследования проведены в виде полевых испытаний, в ходе которых определены основные показатели качества обработки почвы: фракционный состав почвы; плотность; стабильность глубины обработки; гребнистость поверхности. Выявлено, что при выполнении агрегатом основной безотвальной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения в зависимости от типа адаптера составила 82,7…95,3 %, при проведении мелкой обработки – содержание фракции почвы менее 25 мм – 82,5…89,7 %, что полностью соответствует агротехническим требованиям. Показатели глубины при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Агротехническая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составила 30…36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьирует в пределах 20…28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки равна 1,22…1,31 г/см^3, после мелкой обработки – 1,16…1,24 г/см^3. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствует агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы.

Ключевые слова: *основная безотвальная обработка почвы, мелкая обработка почвы, лапа плоскорежущая, дисковая секция, лапа стрельчатая, каток прикатывающий, показатели качества обработки почвы*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дёмшин С. Л., Зырянов Д. А., Тимшин Д. И. Результаты исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата с комплектом сменных адаптеров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):415–425. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.415-425

Поступила: 12.03.2025 Принята к публикации: 22.04.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

The results of study of a multifunctional tillage unit with a set of replaceable adapters

© 2025. Sergey L. Demshin✉, Dmitry A. Zyryanov, Daniil Ig. Timshin
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Federal Agricultural Research Center of the North-East has developed a basic model of a tillage unit with replaceable working bodies in the form of flat-cutting hoes or duckfoot shovels, the combination of which with disk sections allows in compliance with basic agrotechnical requirements to perform primary non-moldboard tillage of 14–25 cm and a complex of operations of pre-sowing soil cultivation operations of 5–14 cm. Further development of the unit design is aimed at improving the quality of processing the surface layer of soil by equipping the basic model with replaceable adapters for additional soil processing. Initially, a set of replaceable adapters was manufactured for the research, including the following types of rollers: tubular, spiral-tubular, rod and bar-tooth. The purpose of the research was to evaluate the effectiveness of using a unit with replaceable adapters for processing the surface layer of soil during basic non-moldboard and shallow tillage. The research was conducted in the form of field tests, during which the main indicators of the quality of soil cultivation were determined: fractional composition of the soil, density, stability of the depth of cultivation and surface ridge. It was revealed that when the unit performed the basic non-moldboard tillage of light loamy soil, the degree of its crumbling, depending on the type of adapter, was 82.7...95.3 %, when performing shallow tillage, the content of the soil fraction less than 25 mm was 82.5...89.7 %, which fully met the agrotechnical requirements. The parameters of processing depth during basic non-moldboard and shallow tillage indicated a sufficiently high stability of the depth of the working body travel. Agrotechnical assessment during primary soil cultivation showed that the surface ridge during autumn cultivation of clean fallow was 30...36 mm, and during cultivation of

grain stubble – 46 mm. In the variants of the unit equipped with working bodies for shallow tillage, this indicator varied within the range of 20...28 mm. The soil density after basic non-moldboard tillage was 1.22...1.31 g/cm³, after shallow tillage – 1.16...1.24 g/cm³. The obtained data indicate that the operation of the unit in all configuration options meets the agrotechnical requirements for pre-sowing and autumn tillage.

Keywords: *basic non-moldboard tillage, shallow tillage, flat-cutting hoe, disk section, duckfoot shovel, roller, indicators of tillage quality*

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme № FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citations: Demshin S. L., Zyryanov D. A., Timshin D. Ig. The results of the study of a multifunctional tillage unit with a set of replaceable adapters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):415–425. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.415-425

Received: 12.03.2025 Accepted for publication: 22.04.2025 Published online: 29.04.2025

Разработка и исследование многофункциональной почвообрабатывающей техники со сменными рабочими органами, основным преимуществом которой является возможность быстрого переоборудования машин путем варьирования различных комбинаций рабочих органов для более полного соответствия агротехнологическим условиям эксплуатации, в настоящее время становится более актуальной в связи с тенденциями внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сельское хозяйство[1] [1, 2, 3]. Учитывая то, что для технологий обработки почвы, посева и уборки возделываемых культур в полеводстве основным трендом является замена посредством возможностей ИИ операторов тяговых средств и вспомогательного персонала, можно прогнозировать дальнейший отказ от тракторов классического вида, компоновочная схема которых включает место оператора[2, 3] [4]. С учётом максимального отказа от ручного труда возможны различные варианты роботизированных почвообрабатывающих и посевных машинно-тракторных агрегатов (МТА) – от широкозахватных агрегатов, автоматически трансформируемых до допустимой ширины при переходе в транспортное положение, до малогабаритных, относительно недорогих машин с небольшой шириной захвата. Для второго случая перспективно оснащение МТА комплектами сменных рабочих органов в навесном варианте, способных выполнять завершённый цикл операций по подготовке почвы и посеву, которые наиболее просто могут быть адаптированы к условиям эксплуатации вследствие малой трудоёмкости переоборудования и возможности его проведения в полевых условиях, а их эксплуатация не столь требовательна к состоянию сельскохозяйственных угодий, дорожной сети, погодным условиям и т. д. В качестве рабочих органов для данных машин наиболее подходят комплекты сменных рабочих органов многофункциональных почвообрабатывающих агрегатов, преимущественно для навесного способа агрегатирования, эффективность работы соответствующих комбинаций которых уже подтверждена на практике[4] [5]. Пока линейка беспилотных тяговых средств не оформлена до широкого производственного применения рационально использовать существующие разработки многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов со сменными рабочими органами как платформы для исследований эффективности функционирования их различных комбинаций. Одной из них можно считать базовую модель почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами в виде плоскорежущих или культиваторных лап, комбинация которых с дисковыми секциями позволяет качественно выполнять основную обработку почвы до 25 см и комплекс операций предпосевной обработки почвы до 14 см, что дает возможным совместить доработку агрегата для узкоспециализированных операций с исследованием взаимодействия комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов [6].

[1]Точное сельское хозяйство: учебник. Под ред. Е. В. Труфляка. СПб: Лань, 2021. 512 с.
[2]Бойко А. Роботизированные трактора. Каталог. RoboTrends.
URL: https://robotrends.ru/robopedia/robotizirovannye-traktora (дата обращения: 23.12.2024).
[3]Бойко А. Каталог автономных сельскохозяйственных роботов для работы в поле, в саду или теплице. RoboTrends.
URL: https://robotrends.ru/robopedia/katalog-avtonomnyh-robotov-dlya-raboty-v-selskom-hozyaystve
(дата обращения: 23.12.2024).
[4]Болотина М. Н., Мишуров Н. П., Федоренко В. Ф., Голубев И. Г., Алдошин Н. В. Сельскохозяйственная техника. Машины для обработки почвы: каталог. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 208 с.
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49459943

Цель исследования – разработать опытные образцы сменных адаптеров для многофункционального почвообрабатывающего агрегата и оценить эффективность использования агрегата со сменными адаптерами при выполнении основной безотвальной и мелкой обработки почвы.

Научная новизна – в процессе исследований многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными адаптерами получены данные, подтверждающие эффективность их использования в его составе, а также изучены возможности совместной работы различных комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов.

Материал и методы. Ранее согласно предложенной конструктивно-технологической схеме разработана базовая модель многофункционального агрегата МПА-2,0/3,0 со сменными почвообрабатывающими органами [7]. Под базовой моделью рассматривался агрегат, оснащённый основными комплектами рабочих органов: плоскорежущими лапами или стрельчатыми культиваторными лапами и дисковыми секциями, которые позволяют выполнять основную безотвальную обработку почвы и комплекс операций мелкой обработки почвы на уровне агротехнических требований. Представляет собой навесную машину и состоит из рамы, на которой расположены опорные колёса с механизмом регулировки глубины обработки, два сменных комплекта основных рабочих органов: три плоскорежущих лапы или одиннадцать культиваторных лап, и две дисковых секции.

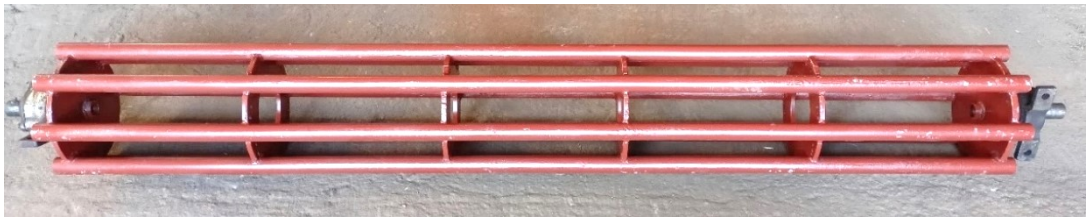
Комплекс возможных регулировок рабочих органов агрегата в совокупности с двумя комплектами основных рабочих органов в виде плоскорежущих и культиваторных лап позволяет базовой модели агрегата эффективно осуществлять операции основной безотвальной, мелкой и поверхностной обработки почвы. При этом изначально на её базе планировалось использовать в качестве основы для формирования специализированных вариантов агрегата, максимально адаптированных к условиям производства путём оснащения сменными адаптерами для финишной почвообработки. Результаты испытаний показали, что основными задачами адаптеров являются: для основной безотвальной обработки – повышение степени крошения верхнего слоя почвы и качества мульчирующего слоя, снижение гребнистости; для мелкой обработки – повышение качества рыхления почвы и прикатывания поверхностного слоя.

При выборе состава комплекта сменных адаптеров для финишной обработки почвы проводили анализ перспективных конструкций рабочих органов для поверхностной обработки почвы[5] [8, 9, 10, 11]. Из большого количества вариаций различных конструкций борон и катков, присутствующих на рынке с.-х. техники, выбраны несколько вариантов катков для использования в качестве сменных адаптеров – трубчатый, спирально-трубчатый, прутковый и планчато-зубовый. В качестве планчато-зубового катка использовали каток культиватора КБМ-8 шириной захвата 2,0 метра, оборудованный кронштейнами для крепления на рамке адаптеров. Общие виды катков и технические характеристики агрегата в комплектации с ними представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

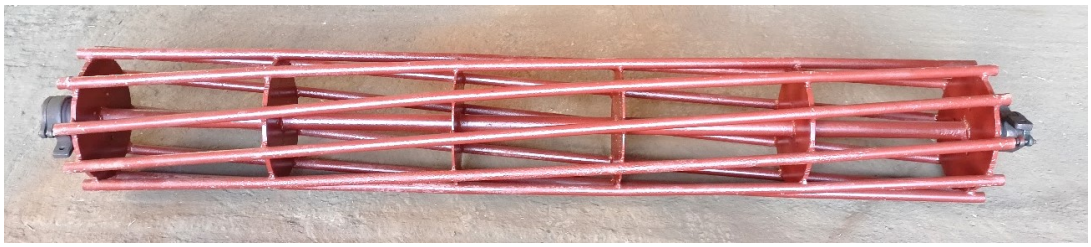
Оценку эффективности применения многофункционального агрегата с двумя видами сменных рабочих органов и изготовленного комплекта адаптеров (катков) для обработки верхнего слоя почвы (рис. 2) выполняли в ходе полевых исследований посредством определения основных агротехнических показателей качества основной безотвальной и мелкой почвообработки, таких как процентное содержание фракций почвы, её плотность, величина гребнистости поля и показатели неравномерности глубины обработки, значения которых определены в соответствии с ГОСТ 33736-2016[6], ГОСТ 33687-2015[7]. Эффективность работы агрегата определяли путем сравнения полученных данных с агротехническими требованиями СТО АИСТ 4.6–2018[8].

[5]Каток Rollex 450-620 фирмы «Vaderstad». Vaderstad. URL: https://www.vaderstad.com/ru/obrabotka-pochvy/katki/rollex/ (дата обращения: 18.01.2025).
[6]ГОСТ 33736-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. 39 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293746/4293746702.pdf
[7]ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 46 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293753/4293753893.pdf
[8]СТО АИСТ 4.6–2018. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. Общие требования. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 34 с. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/404/40484bfe1c30aa632ff203f685053d89.pdf

а / a



б / b



в / c

г / d

Рис. 1. **Сменные адаптеры (катки) для обработки верхнего слоя почвы: а – трубчатый; б – спирально-трубчатый; в – прутковый; г – планчато-зубовый /**

Fig. 1. **Replaceable adapters (rollers) for processing the top layer of soil: a – tubular; b – spiral-tubular; c – rod; d – bar-tooth**

Полевые исследования МТА в составе трактора МТЗ-82 и агрегата МПА-2,2/3,0 проводили на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Масса противовесов, установленных на трактор – 235 кг. В ходе основной безотвальной почвообработки многофункциональным агрегатом с различными видами адаптеров выполняли зяблевую обработку чистого пара. Показатели условий проведения эксперимента определены в соответствии с ГОСТ 20915-2011[9]: состав почвы – дерново-подзолистая легкосуглинистая; рельеф – ровный; влажность почвы в слое до 20 см – 14,7 %; твёрдость в слое до 10 см – 0,81 МПа, 10–20 см – 2,21 МПа, 20–30 см – 2,75 МПа. Средняя высота сорных растений 18,3 см. Испытания агрегата на основной безотвальной обработке стерни яровой пшеницы под зябь проводили только с прутковым катком. Условия проведения: почва дерново-подзолистая тяжелый суглинок, влажность почвы 18,8 %, твёрдость в слое до 10 см – 2,19 МПа, 10–20 см – 3,97 МПа. Средняя высота стерни 12,1 см. Установочная глубина обработки почвы для первого опыта составляла 22 см, скорость движения МТА – 7,2 км/ч (3 передача), для второго опыта – 20 см и 6,7 км/ч (4 передача) соответственно.

[9]ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf

Таблица 1 – **Техническая характеристика агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной/мелкой обработки почвы** /
Table 1 – **Technical characteristics of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and adapters for basic/shallow tillage**

Показатель / Indicator	*Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)*			
	трубчатый / tubular	*спирально-трубчатый / spiral-tubular*	*прутковый / rod*	*планчато-зубовый / bar-tooth*
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	До 2,2 (up to 2.2) / До 2,5 (up to 2.5)			
Рабочая скорость, км/ч / Working speed, km/h	6,0…10,5 / 6,0…12,0			
Рабочая ширина, мм / Working width, mm	2180 / 2200			
Глубина обработки, см / Depth of tillage, cm:				
- плоскорежущими/культиваторными лапами / by flat-cutting hoe / by duckfoot shovel	14…25 / 5…14			
- дисковыми секциями / by disk sections	До 10 (up to 10)			
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3…4	3…4	3…5	4…6
Ширина захвата катка, м / Roller width, m	2,25	2,25	2,2	2,0
Диаметр катка, мм / Roller diameter, mm	360	345	310	250
Число рабочих элементов катка (труб, планок и т. д.), шт. / Number of working elements of the roller (tubs, slats, etc.), pcs.	8	10	12	6
Размер рабочих элементов, мм / Size of the working elements, mm	Ø 40	Ø 27	Ø 16	8 x 50
Масса катка, кг / Roller weight, kg	86	70	68	42
Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm:				
- длина / length	3060 / 3020	3050 / 3010	3035 / 2195	2950 / 2910
- ширина / width	2530 / 2950	2530 / 2950	2530 / 2950	2530 / 2950
- высота / height	1250 / 1150	1250 / 1150	1250 / 1150	1250 / 1150
Масса, кг / Mass, kg	746 / 805	730 / 785	728 / 783	712 / 767
Удельная металлоёмкость, кг/м / Specific metal intensity, kg/m	342,2 / 365,9	334,9 / 356,8	333,9 / 355,9	326,6 / 348,6
Трудоемкость переоборудования адаптеров, чел.-ч / Labor intensity of adapter conversion, man-hours	Не более 1,0 (no more than 1.0)			

Примечания: в числителе значения для комплектации агрегата для выполнения основной безотвальной обработки почвы, в знаменателе – для мелкой обработки почвы /

Notes: in the numerator the value for assembling the unit for performing basic non-moldboard tillage, in the denominator – for shallow tillage

В процессе мелкой обработки почвы МТА осуществлял культивацию чистого пара. Условия проведения опыта: состав почвы – дерново-подзолистая легкосуглинистая; рельеф – ровный; влажность почвы в слое до 20 см – 14,7 %; твёрдость в слое до 10 см – 0,69 МПа, 10–20 см – 1,36 МПа. Средняя высота сорных растений 15,3 см. Скорость движения МТА – 8,9 км/ч (4 передача). Установочная глубина обработки – 14 см.

а / a

б / b

Рис. 2. **Агрегат МПА-2,2/3,0 с рабочими органами: а – для основной обработки и трубчатым катком; б – для мелкой обработки почвы и спирально-трубчатым катком при проведении опытов /**

Fig. 2. **Unit MPA-2.2/3.0 with working bodies: a – for basic tillage and a tubular roller; b – for shallow tillage and a spiral-tubular roller during `the experiments**

Результаты и их обсуждение. Качество работы агрегата МПА-2,2/3,0 оценивали по требованиям СТО АИСТ 4.6-2018, согласно которым после проведения основной безотвальной обработки почвы на глубину 15…30 см содержание фракции размером более 50 мм не должно превышать 20 %, отклонение глубины обработки от заданной – ±1,5 см, гребнистость поверхности – не более 5 см; после проведения обработки почвы комбинированными агрегатами на глубину 5…16 см – содержание фракции более 25 мм не более 30 %, гребнистость – не более 4 см, отклонение глубины обработки от заданной – ±2,0 см, плотность почвы в пределах оптимальных значений при подготовке под посев зерновых – 1,1…1,3 г/см^3.

Результаты полевых испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной и мелкой обработки почвы приведены в таблицах 2, 3, фотографии агрегата при проведении работ – на рисунке 3.

Результаты исследований агрегата МПА-2,2/3,0 с различными видами сменных адаптеров подтвердили, что машина со всеми исследуемыми комбинациями почвообрабатывающих рабочих органов стабильно осуществляет мелкую и основную безотвальную обработки почвы с соблюдением рабочей ширины захвата, за исключением варианта комплектации планчато-зубовым катком культиватора КБМ-8 шириной захвата 2,0 м.

Анализ данных по фракционному составу почвы показал, что при выполнении основной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения, в зависимости от типа адаптера, составила 82,7…95,3 %, что полностью соответствует агротехническим требованиям. При зяблевой обработке тяжелосуглинистой почвы агрегатом с прутковым катком этот показатель равнялся 76,8 % – несколько меньше стандарта, что объясняется сухой переуплотненной почвой высокой твердости.

Таблица 2 – **Результаты испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной безотвальной обработки почвы /**
Table 2 – **Test results of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and adapters for basic non-moldboard tillage**

Показатель / Indicator	*Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)*			
	трубчатый / tubular	*спирально-трубчатый / spiral-tubular*	*прутковый / rod*	*планчато-зубовый / bar-tooth*
Скорость движения, км/ч / Speed of movement, km/h	7,2 / 6,7			
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	1,58 / 1,47			
Установочная глубина обработки, см / Installation depth of tillage, cm:				
- плоскорежущими лапами / by flat-cutting hoes	22	22	22 / 20	22
- дисковыми секциями / by disk sections	10	10	10	10
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3…4	3…4	3…5	4…6
Равномерность глубины обработки / Uniformity of the depth of tillage:				
- средняя глубина, см / average depth, cm	20,4	21,3	21,0 / 18,1	22,9
- среднеквадратическое отклонение, см / standard deviation, cm	1,49	1,33	1,84 / 1,79	1,53
- коэффициент вариации, % / coefficient of variation, %	7,3	6,3	8,8 / 9,9	6,7
Содержание фракций почвы, % / Content of soil fractions, %:				
- менее 10 мм / less than 10 mm	67,8	60,2	61,0 / -	57,7
- 10…25 мм / 10…25 mm	14,6	13,5	13,9 / -	18,5
- 25…50 мм / 25...50 mm	12,9	9,0	9,2 / -	18,3
- свыше 50 мм / over 50 mm	4,7	17,3	15,8 / 23,2	5,5
Гребнистость поверхности, мм / Surface ridge, mm	32	30	36 / 46	34
Плотность почвы, г/см^3 / Soil density, g/cm^3	1,26	1,23	1,28 / 1,31	1,22

Примечания: числитель – значения для первого опыта, знаменатель – для второго опыта /
Notes: numerator the values are for the first experiment, denominator – for the second experiment

Наиболее высокую степень крошения почвы получили при использовании трубчатого и планчато-зубового катков. При проведении агрегатом мелкой обработки почвы содержание фракции менее 25 мм для всех видов адаптеров в составе агрегата составило 82,5…89,7 %, что существенно больше рекомендуемого СТО АИСТ 4.6-2018 значения. Предварительно для данных условий эксплуатации можно выделить некоторое преимущество применения трубчатого и планчато-зубового катков при дополнительной обработке верхнего слоя почвы.

Полученные значения показателей устойчивости глубины при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Практически качество работы всех исследуемых вариантов комплектации многофункционального агрегата находится в поле допускаемых агротехническими требованиями значений. При мелкой обработке почвы более высокую равномерность глубины демонстрирует трубчатый каток. При основной обработке его работа также стабильна, но величина средней глубины обработки находилась на границе допуска, так как при испытаниях глубина обработки агрегатом настраивалась для одного вида адаптера в виде пруткового катка и в дальнейшем не менялась. При мелкой обработке почвы прослеживалась взаимосвязь повышения стабильности глубины хода основных рабочих органов с увеличением площади контакта уплотняющих элементов катков, при основной обработке такой зависимости не выявлено.

Таблица 3 – **Результаты испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 со сменными рабочими органами и адаптерами для мелкой обработки почвы /**
Table 3 – **Test results of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and replaceable adapters for shallow tillage**

Показатель / Indicator	*Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)*			
	трубчатый / tubular	*спирально-трубчатый / spiral-tubular*	*прутковый / rod*	*планчато-зубовый / bar-tooth*
Скорость движения, км/ч / Speed of movement, km/h	8,9			
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	1,9			
Установочная глубина обработки, см / Installation depth of tillage, cm:				
- культиваторными лапами / by duckfoot shovels	14	14	14	14
- дисковыми секциями / by disk sections	8	8	8	8
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3…4	3…4	3…5	4…6
Равномерность глубины обработки / Uniformity of the depth of tillage:				
- средняя глубина, см / average depth, cm	13,7	13,1	12,1	13,0
- среднеквадратическое отклонение, см / standard deviation, cm	1,54	1,85	2,13	1,97
- коэффициент вариации, % / coefficient of variation, %	11,3	14,1	17,6	15,3
Содержание фракций почвы, % / Content of soil fractions, %:				
- менее 10 мм / less than 10 mm	75,1	76,9	67,4	74,7
- 10…25 мм / 10…25 mm	14,6	11,0	15,1	14,2
- 25…50 мм / 25...50 mm	8,7	12,1	12,4	9,3
- свыше 50 мм / over 50 mm	1,6	0	5,1	3,8
Гребнистость поверхности, мм / Surface ridge, mm	20	24	24	28
Плотность почвы, г/см^3 / Soil density, g/cm^3	1,21	1,24	1,19	1,16

Агротехническая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составила 30…36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьировал в пределах 20…28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки составила 1,22…1,31 г/см^3, после мелкой – 1,16…1,24 г/см^3. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствовала требованиям СТО АИСТ 4.6-2018 и удовлетворяла агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы, за исключением функционирования агрегата МПА-2,2/3,0 с прутковым катком при безотвальной обработке стерни зерновых на участке с тяжелосуглинистой почвой, где значения показателей немного ниже границы допуска.

В целом проведенные исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными адаптерами в виде катков подтвердили, что их использование в составе агрегата позволяет более качественно проводить основную безотвальную и мелкую обработки почвы. Применение сменных адаптеров в составе агрегата повышает степень крошения (снижение до 10 % содержания фракции почвы более 50 мм), стабилизирует глубину обработки основными комплектами почвообрабатывающих органов, позволяет снизить гребнистость микрорельефа и регулировать величину плотности верхнего слоя почвы посредством варьирования силы поджатия катков.

а / a

б / b

Рис. 3. **Агрегат МПА-2,2/3,0 с рабочими органами: а – для основной обработки и прутковым катком; б – для мелкой обработки почвы и планчато-зубчатым катком при проведении опытов**

Fig. 3. **Unit MPA-2.2/3.0 with working bodies: a – for basic tillage and a rod roller; b – for shallow tillage and a bar-tooth roller during the experiments**

Также можно отметить соответствие полученных результатов общепринятой специализации прикатывающих катков [12, 13]. Так, катки с большими диаметрами рабочих элементов (труб) и, как следствие, большей опорной поверхностью более интенсивно крошат комки сухой, относительно рыхлой почвы и меньше погружаются в почву. Результаты их использования при мелкой обработке почвы подтвердили повышение стабильности глубины обработки основных рабочих органов в виде культиваторных лап. Применение планчато-зубового катка также положительно влияет на крошение почвы, в том числе за счет более глубокого погружения в ее поверхностный слой, но при этом несколько снижается стабилизация глубины хода основных рабочих органов, показатели гребнистости и уплотнения почвы.

В заключение необходимо обратить внимание на то, что полученные результаты функционирования многофункционального агрегата с набором сменных адаптеров проверены в определенных условиях эксплуатации и для выявления полной картины возможностей совместной работы различных комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов требуется продолжение исследований в наиболее характерных для региона условиях. При этом нужно принимать во внимание высокую степень изменчивости физико-механических свойств почвы одного и того же участка в зависимости от климатических условий, предшествующих обработок почвы и т. д., что обуславливает рациональность наличия нескольких вариантов комплектации агрегата сменными адаптерами для каждого конкретного случая хозяйственного применения.

Выводы. 1. Для многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами разработан комплект сменных адаптеров в виде прикатывающих катков

различной конструкции: трубчатый (8 труб Ø40 мм); спирально-трубчатый (10 труб Ø27 мм); прутковый (12 труб Ø16 мм); планчато-зубовый (полоса 8х50 мм).

2. В ходе исследований выявлено, что при выполнении агрегатом основной безотвальной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения в зависимости от типа адаптера равнялась 82,7…95,3 %, при проведении мелкой обработки – содержание фракции почвы менее 25 мм составило 82,5…89,7 %. Показатели глубины обработки при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Агротехническая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составляет 30…36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьировал в пределах 20…28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки равна 1,22…1,31 г/см^3, после мелкой обработки – 1,16…1,24 г/см^3. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствует агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы.

Список литературы

1. Гольтяпин В. Я., Мишуров Н. П., Федоренко В. Ф., Соловьев С. А., Балабанов В. И., Алдошин Н. В. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 172 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439 EDN: XJHKQG

2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278

3. Загазежева О. З., Край К. Ф. Проблемы и перспективы внедрения роботизированных и интеллектуальных технологий в растениеводство. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021;(6(104)):95–104. DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104 EDN: WXLZCP

4. Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Гольтяпин В. Я., Федоренко В. Ф., Федоров А. Д., Слинько О. В. и др. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 224 с.

5. Вестник испытаний сельскохозяйственной техники: периодический информационный бюллетень испытаний. Усть-Кинельский: АИСТ, 2020. 116 с.
Режим доступа: https://kubmis.ru/wp-content/uploads/2021/12/vestnik-ispytanij-sbornyj-2020.pdf

6. Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Остальцев В. П., Ильичёв В. В. Результаты исследования базовой модели многофункционального почвообрабатывающего агрегата. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):172–182. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.172-182 EDN: FNMMSA

7. Дёмшин С. Л., Андреев В. Л., Черемисинов Д. А., Ильичёв В. В. Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат: пат. № 2679700 Российская Федерация. № 2018110972; заяв. 27.03.2018; опубл. 12.02.2019. Бюл. №5. 9 с. Режим доступа: https://patents.google.com/patent/RU2679700C9/ru

8. Крук И. С., Назаров Ф. И., Чигарёв Ю. В., Назарова Г. Ф., Карпович С. К., Маринич Л. А., Бакач Н. Г., Лепешкин Н. Д. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Минск: БГАТУ, 2017. 104 с. Режим доступа: https://rep.bsatu.by/handle/doc/4848

9. Алдошин Н. В., Васильев А. С., Кудрявцев А. В., Голубев В. В., Алипичев А. Ю. Результаты исследования предпосевной обработки почвы прутковым катком. Агроинженерия. 2020;(2(96)):9–16.
DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16 EDN: FQBLQQ

10. Никифоров М. В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры. Вестник НГИЭИ. 2018;(12(91)):30–39.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36635053 EDN: YRJAXZ

11. Прошкин В. Е., Курдюмов В. И., Шаронов И. А., Яковлев С. А. Результаты полевых исследований прутково-дискового катка. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(4(64)):229–234. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-229-234 EDN: CPKVLZ

12. Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Филиппов А. И., Пузевич К. Л. Анализ конструкций и технологических возможностей почвообрабатывающих катков. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(4):144–149. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50019131 EDN: PBBFGR

13. Bernacki H., Haman J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol. 1. Washington D. C., 1972. 883 p.

References

1. Goltyapin V. Ya., Mishurov N. P., Fedorenko V. F., Solovev S. A., Balabanov V. I., Aldoshin N. V. Innovative technologies and agricultural machinery abroad. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2020. 172 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439

2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278

3. Zagazezheva O. Z., Kray K. F. Problems and prospects of introducing robotic and intelligent technologies in crop production. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2021;(6(104)):95–104. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104

4. Mishurov N. P., Kondratyeva O. V., Goltyapin V. Ya., Fedorenko V. F., Fedorov A. D., Slinko O. V. et al. Foreign experience of agriculture digitalization. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2022. 224 p.

5. Bulletin of tests of agricultural machinery: periodic information bulletin of tests. Ust'-Kinel'skiy: *AIST*, 2020. 116 p. URL: https://kubmis.ru/wp-content/uploads/2021/12/vestnik-ispytanij-sbornyj-2020.pdf

6. Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Ostal'tsev V. P., Ilyichev V. V. Results of the research of the basic model of multifunctional tillage unit. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):172–182. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.172-182

7. Demshin S. L., Andreev V. L., Cheremisinov D. A., Il'ichev V. V. Multifunctional tillage unit: patent RF no. 2679700, 2019. URL: https://patents.google.com/patent/RU2679700C9/ru

8. Kruk I. S., Nazarov F. I., Chigarev Yu. V., Nazarova G. F., Karpovich S. K., Marinich L. A., Bakach N. G., Lepeshkin N. D. Designing roller attachments for arable units. Minsk: *BGATU*, 2017. 104 p. URL: https://rep.bsatu.by/handle/doc/4848

9. Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Kudryavtsev A. V., Golubev V. V., Alipichev A. Yu. Study of seedbed preparation with rod-type soil compaction roller. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2020;(2(96)):9–16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16

10. Nikiforov M. V. Improvement of the design of leveler working bodies for pre-sowing soil treatment for small-seed crops. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2018;(12(91)):30–39. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36635053

11. Proshkin V. E., Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Yakovlev S. A. Results of field research of a rod-disc roller. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;(4(64)):229–234. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

12. Lepeshkin N. D., Mizhurin V. V., Filippov A. I., Puzevich K. L. Analysis of designs and technological capabilities of tillage rollers. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(4):144–149. (In Belarus). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50019131

13. Bernacki H., Haman J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol. 1. Washington D. C., 1972. 883 p.

Сведения об авторах

✉ **Дёмшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7562-7965**, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Зырянов Дмитрий Алексеевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Тимшин Даниил Игоревич, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7562-7965**, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Dmitry A. Zyryanov, PhD in Engineering, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Daniil Ig. Timshin, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.426–436
УДК 638.11:631.1

О рентабельности пчеловодства в условиях Камчатского края

© 2025. П. П. Снегур [1,2], М. Ю. Дьяков [1]✉

[1]*Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация,*

[2]*Камчатский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», п. Сосновка, Елизовский р-он, Камчатский край, Российская Федерация*

Цель работы – анализ современного уровня пчеловодства и его экономической эффективности в зоне Севера России, где ранее, несмотря на предпринимаемые попытки использования медоносных пчел, отрасли не удалось закрепиться. В постсоветский период сложились социально-экономические условия, способствующие возникновению небольших частных пасек, и на рынках появился мед местного производства, пользующийся достаточно большим спросом. В статье обосновывается потребность таких регионов в местном пчеловодстве. Необходимость вызвана прогрессирующей проблемой фальсификации меда в глобальном масштабе. На основании анализа работы любительской пасеки среднего размера (30 пчелиных семей), располагающейся в Камчатском крае и работающей как личное подсобное хозяйство, рассчитан уровень рентабельности производства меда (540 кг в год) и воска (30 кг в год) – 22,5 %. Были учтены только реально имеющие место затраты, размер которых в 2024 г. достиг 728,9 тыс. руб. Отчисления на оплату труда составили 64,4 %. Также учитывались стоимость средств производства и накладные расходы. Цена реализации меда – 1600 руб/кг. Такие хозяйства могут достаточно стабильно работать и постепенно развиваться, но для владельцев они будут оставаться источником только дополнительного дохода. Создание более крупных пчеловодческих предприятий, имеющих промышленные масштабы, осложнено трудностями в увеличении производительности труда пчеловодов из-за необходимости в столь суровых условиях при современном уровне знаний и технологий осуществлять индивидуальный подход в обслуживании каждой пчелиной семьи. Остается неизвестной успешность реализации более крупных объемов продукции по цене, соответствующей затратам. Материал может быть использован для принятия решений о господдержке при организации или переоснащении фермерских пчеловодческих предприятий.

Ключевые слова: *районы Севера России, обоснованность пчеловодства, камчатский мед, личное подсобное хозяйство, затраты труда, стоимость средств производства, уровень рентабельности*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания Камчатского филиала ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук (№ гос. регистрации 124012700496-4).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Снегур П. П., Дьяков М. Ю. О рентабельности пчеловодства в условиях Камчатского края. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):426–436. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.426-436

Поступила: 03.12.2024 Принята к публикации: 14.03.2025 Опубликована онлайн: 29.04.2025

On the profitability of beekeeping in conditions of Kamchatka Territory

© 2025. Pavel P. Snegur[1, 2], Maxim Yu. Dyakov[1]✉

[1]*Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

[2]*Kamchatka Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal Research Center «N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources », Sosnovka, Elizovsky District, Kamchatka Territory, Russian Federation*

The purpose of this study is to analyze the current level of beekeeping and its economic efficiency in the zone of northern Russia, where previously, despite attempts to use honey bees, the industry failed to gain a foothold. In the post-Soviet period, socio-economic conditions favoring the emergence of small private apiaries have developed, and locally produced honey, which is in quite high demand, has appeared on the markets. The need of such regions in local beekeeping is substantiated in the article. The necessity is caused by the progressive problem of honey adulteration on a global scale. Observations carried out by the authors served as a source for the basic data. Analytical, comparative and systematic approaches were used during the research. Based on the analysis of the work of a medium-sized amateur apiary (30 bee colonies), located in the Kamchatka Territory and operating as a private subsidiary farm, the profitability level of honey (540 kg per year) and wax (30 kg per year) production was calculated. The indicator size was 22.5 %. Only actual costs were taken into account, the size of which in 2024 reached 728.9 thousand rubles. Deductions for labor costs amounted to 64.4 %. The cost of production facilities and overhead costs were also taken into account. The selling price of honey was 1600 rubles/kg. Such farms can operate quite stably and gradually develop, but for the owners they will remain only a source of additional income. Establishment of larger beekeeping enterprises with industrial scale is complicated by difficulties in increasing the productivity of beekeepers due to the need to implement an individual approach in servicing each bee colony in such harsh conditions at the current level of knowledge and technology. The success of selling larger volumes of products at a cost-effective price also remains unknown. The material can be used to make decisions on state support in the organization or re-equipment of farm beekeeping enterprises.

Keywords: *areas of the Russian North, feasibility of beekeeping, Kamchatka honey, private farming, labour inputs, cost of means of production, level of profitability*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch Russian Academy of Sciences (state registration No. 124012700496-4).

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citations: Snegur P. P., Dyakov M. Yu. On the profitability of beekeeping in conditions of Kamchatka Territory. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):426–436. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.426-436

Received: 03.12.2024 Accepted for publication: 14.03.2025 Published online: 29.04.2025

В современных условиях глобального экологического кризиса все более актуальным становится переход к устойчивому развитию российских регионов [1, 2]. Дополнительную актуальность такому переходу придает необходимость преодоления текущих санкционных вызовов, существующая не только на общенациональном, но и на региональном уровне [3, 4, 5, 6]. Важным в контексте указанных проблем становится эффективное и рациональное использование имеющегося у регионов природного капитала. Для регионов российского Севера и Дальнего Востока, имеющих относительно невысокую нарушенность экосистем и высокий объем природных ресурсов, эффективное использование природного капитала может стать одним из ведущих направлений преодоления актуальных вызовов и угроз.

Развитие пчеловодства – одно из направлений эффективного использования природного капитала региона. Пчеловодство одновременно способствует достижению целого ряда целей устойчивого развития, сформулированных в Резолюции Генеральной ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»[1]. Это такие цели – «Ликвидация голода», которая также может быть обозначена как обеспечение продовольственной безопасности, «Хорошее здоровье и благополучие» – достижению которой пчеловодство способствует за счет полезности своих продуктов для здоровья, «Ответственное потребление и производство» – за счет максимально экологичного использования местных ресурсов[2].

[1]Резолюция Генеральной ассамблеи ООН. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Организация объединенных наций. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/92/pdf/n1529192.pdf (дата обращения: 12.11.2024).

[2]Цели в области устойчивого развития. Организация объединенных наций. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/ (дата обращения: 12.11.2024).

На территории Камчатского края, как и во многих регионах Севера России, в последнее время отмечается интерес жителей к пчеловодству. В основном, это объясняется подсознательным стремлением человека компенсировать моральную нагрузку от дискомфорта при жизни в достаточно суровом климате. Пчеловодство у большинства людей ассоциируется с благоприятными климатическими условиями. И в таких районах попытки разведения пчел предпринимались еще в XIX – начале XX века, когда пришлое население только начинало осваивать новые земли, т. е. задолго до настоящего периода. Но уровень экономики и технологии в то время не позволяли отрасли на этой территории закрепиться.

В советское время при централизованной государственной системе хозяйствования в некоторых местах за счет ежегодного завоза пакетных пчелиных семей для опыления культур закрытого грунта создавались пасеки, на которых иногда получали также и мед с естественных медоносов [7, 8], очевидно, как побочную продукцию. Однако в дальнейшем это не приводило к становлению пчеловодства из-за того, что себестоимость и меда, и новых пчелиных семей в таких зонах довольно высока. Всю эту продукцию более оправдано было привозить из тех регионов, где эта отрасль была хорошо развита. Любительские пасеки не возникали из-за того, что это дорого, технически сложно, требовало много времени и больших физических усилий, и при фиксированных ценах эти затраты окупить было невозможно.

В постсоветский период сложились условия, располагающие к созданию в таких зонах небольших частных пасек. С начала 90-х годов XX столетия по всей стране наблюдался рост частной инициативы в сельскохозяйственной сфере [9], в том числе среди жителей северных регионов. Наиболее важным фактором для возникновения здесь пчеловодства явилась либерализация экономики, что дало возможность реализовывать продукцию по ценам, оправдывающим затраты. Кроме того, большое влияние оказала свободная доступность сахара в любом объеме. Это позволило проводить зимовку пчел, используя сахарный корм, а бóльшую часть натурального меда изымать для продажи, что кардинально увеличивало доходность пасек. Возросший уровень логистических услуг также существенно улучшил возможности по организации и ведению пчелиных хозяйств. И пчеловодство в России повсеместно продвинулось на север.

Первичной мотивацией для начала разведения пчел в данных условиях, как правило, являлся любительский интерес к этому занятию, а также желание потреблять натуральный мед, в качествах которого не возникало бы сомнений. По мере приобретения опыта и расширения пасек у пчеловодов появлялись значительные излишки меда, которые они продавали по высокой цене, и стало очевидным, что это дело может служить источником дохода. Это обстоятельство привело к закреплению в таких зонах пчеловодства и даже его некоторому развитию.

Цель работы – оценка экономической эффективности пчеловодства в экстремальных для медоносной пчелы условиях при учете степени востребованности меда местного производства.

Анализ проводили на примере ситуации, сложившейся в Камчатском крае. Вопрос об экономической целесообразности производства камчатского меда был поднят на II Национальной научно-практической конференции «Моисеевские чтения» (г. Петропавловск-Камчатский, 2021 г.) после доклада «Перспективы пчеловодства в Камчатском крае» [10]. Несмотря на то, что на полуострове сегодня эта отрасль представлена только любительским сектором (пока здесь нет владельцев пчел, для которых это занятие было бы основным источником дохода), и довольно трудно учесть и рассчитать все затраты, которые могли бы иметь место на более крупном специализированном предприятии, было рекомендовано определить уровень рентабельности производства натурального камчатского меда при нынешнем состоянии.

Научная новизна – предложена методика расчета уровня рентабельности, учитывающая особенности работы личных подсобных хозяйств (ЛПХ).

Материал и методы. В пчеловодстве принятые методики бухгалтерского учета производства, реализации готовой продукции и определение ее себестоимости имеют выраженные отраслевые особенности. Но часто и они не учитывают специфику конкретного технологического процесса и условий, в которых он осуществляется [11]. Для установления размера показателей в небольшом частном пчеловодческом хозяйстве представлен упрощенный вариант расчета. Определяли затраты на производство меда и воска на камчатской любительской пасеке размером в 30 пчелиных

семей, существующей как ЛПХ – в условиях, при которых собственник освобождается от налогообложения[3] (в настоящее время в России более 90 % меда производится в ЛПХ [12]).

Источником данных послужили собственные наблюдения. В расчет брали уровень цен на 2024 год. Мы не следовали установленным нормативным актам, регламентирующим учет затрат в пчеловодстве, поскольку они затрудняют определение и в нашем случае не увеличивают объективность оценки, а просто перечислим издержки. Затраты включают оплату труда, отчисления на средства производства и прочие накладные расходы. Из производимой продукции учитывается только товарный мед (изымаемый из ульев), а также получаемый воск. Кормовой мед, оставляемый для зимнего питания пчел (стоимость незавершенного производства – в принятых методиках бухучета), отстроенные пчелами рамки искусственной вощины, новые пчелиные семьи, а также новые пчелиные матки вывода текущего года в расчет не берутся. Все виды продукции, предназначенные не для реализации, а для внутреннего потребления, рассматриваются как составляющие хозяйственной единицы «пчелиная семья», т. к. направлены только на сохранение этого возобновляемого биологического актива.

Результаты и их обсуждение. Большая специфичность условий Камчатки и их слабая изученность в отношении возможностей пчеловодства оставляют неопределенными множество вопросов о результативности применения тех или иных технологий содержания и разведения пчелиных семей, что обуславливает неясность относительно объема производственных затрат. Но можно рассчитать минимально необходимый уровень расходов при использовании простейших технологических схем, применяющихся на полуострове в настоящее время и позволяющих получать определенное количество товарного меда.

Определение размера оплаты труда. В пчеловодстве, как и во многих других отраслях животноводства, бóльшая часть затрат приходится на две статьи: стоимость кормов и оплата труда. Фуражный мед, оставляемый в пчелиных семьях для зимовки, обуславливает довольно большой удельный вес статьи «корма» в структуре себестоимости продукции. В нашем расчете кормовой мед не учитывается вовсе (ни предыдущего сезона, ни текущего). Кроме того, его доля в общем количестве зимнего корма на Камчатке обычно составляет не более трети (основная часть меда из гнезд изымается). Необходимый объем кормовых запасов для зимовки пчел обеспечивается за счет сахара, стоимость которого на порядок ниже. Таким образом, основная часть затрат приходится на статью «оплата труда».

Природно-климатические условия Камчатки, как и других северных территорий, для медоносной пчелы весьма необычны. Поэтому обслуживание пчелиных семей требует бóльшего внимания, чем в более благоприятных регионах. В таблице 1 представлен список основных видов работ, связанных с ведением хозяйства, с указанием по каждому пункту приблизительной продолжительности рабочего времени. Технология содержания пчел, на основании которой определен данный список работ, представляет собой наиболее простую схему, применяемую в камчатских условиях.

Местной особенностью является неизбежное сильное проявление пчелиными семьями роевого инстинкта. Все пчелиные семьи ежегодно, за крайне редким исключением, проходят через роевой процесс, что отнимает много времени и сильно снижает производительность труда пчеловода. Так, после удаления из гнезд старых маток, несмотря на наличие большого числа роевых маточников, пчелы продолжают закладывать маточники на открытом расплоде. Из них, в случае невнимательного контроля, выходят молодые матки (в 2-3 очереди), которые провоцируют выход роев. Наряду с противодействием роению, все манипуляции по уходу за пчелами, учитывая непродолжительность вегетационного периода, необходимо выполнять в достаточно сжатые сроки в соответствии с сезонной динамикой роста и развития пчелиных семей.

Производство меда осуществляется в личном подсобном хозяйстве, что является формой непредпринимательской деятельности, реализация произведенной в ЛПХ продукции также не приравнивается к предпринимательской деятельности. Непростым вопросом становится оценка материальных затрат, связанных с размером оплаты труда. Для установления размера этой статьи необходимо условно взять такой уровень материального вознаграждения, который сохранял бы заинтересованность работника в продолжении деятельности.

[3]Федеральный закон «О личном подсобном хозяйстве» от 7 июля 2003 года №112-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/19694 (дата обращения: 11.12.2024).

Таблица 1 – **Перечень основных работ по ведению пасечного хозяйства (30 пчелиных семей) и затраты труда** /
Table 1 – **List of main work tasks on apiary (30 bee colonies) and labor cost**

Содержание работ / Content of the work	*Период / Period*	*Продолжительность рабочего времени, час / Length of working time, hour*	*Стоимость, тыс. руб. / Labor cost, housand rubles*
Ремонт и подготовка ульев к активному сезону жизнедеятельности пчел / Repair and preparation of hives for the active bee season	Январь – апрель / January – april	135	108,0
Очистка пасеки от снега / Removing snow from the apiary	20–31 марта / march 20–31	15	12,0
Проверка кормовых запасов в гнездах пчелиных семей / Checking honey reserves in nests of bee colonies	01–10 апреля / april 01–10	2	1,6
Весенняя ревизия и сокращение пчелиных гнезд / Spring inspection and reduction of bee nests	25–30 апреля / april 25–30	12	9,6
Расширение гнезд / Increasing the volume of nests	25 мая – 20 июня / may 25 – june 20	10	8,0
Проверка роевого состояния (через каждые 5–7 дней) / Checking swarm status (every 5–7 days)	Июнь – июль / June – july	20	16,0
Установка надставок на гнездовые корпуса / Installing suppers on the hives	Июнь / June	2	1,6
Удаление маточников из пчелиных семей в роевом состоянии / Removal of queen cells from the bee colonies in a swarming state	Июнь – июль / June – july	90	72,0
Поиск и удаление из пчелиных семей в роевом состоянии матки / Search and removal of old queen from the bee colonies in a swarming state	Июнь – июль / June – july	15	12,0
Поимка и поселение выходящих роев (до 10 на пасеке) / Capture and settlement of emerging swarms (up to 10 per apiary)	Июнь – июль / June – july	15	12,0
Осмотр пчелиных семей в целях контроля медосбора, текущий уход / Inspection of the bee colonies for the purpose of monitoring honey collection, routine care	01–05 августа / august 01–05	8	6,4
Уход за территорией возле ульев / Caring for the area around the hives	Июнь – август / June – august	12	9,6
Снятие надставок с медом / Removing honey suppers	25–28 августа / august 25–28	8	6,4
Сокращение гнезд, обработка пчел от варроатоза, выбраковка некондиционных пчелиных семей, установка кормушек / Nest reduction, bee treatment for varroatosis, culling of substandard bee colonie, installation of feeders	28–31 августа / august 28–31	12	9,6
Предзимнее пополнение кормовых запасов пчелиных семей / Pre-winter replenishment of feed reserves of the bee colonies	01–15 сентября / september 01–15	105	84,0
Извлечение кормушек, осенняя ревизия пчелиных семей / Removing feeders, autumn inspection of the bee colonies	17–20 сентября / september 17–20	12	9,6
Откачка, фильтрация, отстаивание и фасовка меда / Centrifugation, filtering, settling and packaging of honey	20 – 30 сентября / september 20 – 30	70	56,0
Повторная обработка пчелиных семей от варроатоза / Repeated treatment of bee colonies from varroatosis	01–10 октября / october 01–10	8	6,4
Переработка воска / Wax processing	Октябрь / October	16	12,8
Контроль за зимовкой пчелиных семей / Monitoring the wintering of the bee colonies	Ноябрь – март / November – march	10	8,0
Поиск и приобретение материалов и оборудования / Search and purchase of materials and equipment	Декабрь – Февраль / December – february	10	8,0
Итого / Total	-	587	469,6

Если использовать систему повременной оплаты и принять стоимость 1 рабочего часа за 800 рублей, не дифференцируя рабочее время по сложности операций и условий для их выполнения, т. е. усредненно, то зарплата работника при 40-часовой рабочей неделе составит 115 200 руб. в месяц (налоговые отчисления не делаются, социальные – не обязательны – №112-ФЗ, ст. 2, п. 4). Полагаем, что такая величина оплаты в условиях Камчатки может мотивировать на занятие пчеловодством в качестве дополнительного заработка.

Всего за 1 год для обслуживания хозяйства предполагается потратить 587 часов рабочего времени. В данном случае общие затраты на оплату труда составят 469,6 тыс. руб., что соответствует 64,4 % себестоимости продукции.

Стоимость средств производства и прочие затраты. Наибольший удельный вес в общей сумме всех средств производства в пчеловодческих хозяйствах занимает стоимость пчелиных семей и ульев (табл. 2).

Таблица 2 – **Затраты ЛПХ на средства производства и прочие накладные расходы (30 пчелиных семей)** / *Table 2* – **Cost of production means and other overhead costs in a private apiary (30 bee colonies)**

Наименование / Name	*Стоимость тыс. руб. / Labor cost, thousand rubles*	*Срок использования, лет / Period of use, year*	*Ежегодные отчисления, тыс. руб. / Annual deductions, thousand rubles*
Пчелиные семьи, 30 единиц / Bee colonies, 30	600,0	20	30,0
Ульи с надставками и кормушками, 45 шт. / Hives with extensions and feeders, 45	540,0	20	27,0
Подставки под ульи, 40 шт. / Stands for hives, 40	48,0	10	4,8
Диафрагмы и удалители пчел из магазинов, 40 и 40 шт. / Diaphragms and bee removers from stores, 40 & 40	32,0	20	1,6
Медогонка электрическая / Electric honey extractor	60,0	10	6,0
Воскотопка / Wax melter	30,0	10	3,0
Мелкий инвентарь (дымари, стамески, ножи, катки, колпачки, клеточки, фильтры и т. д.) / Small inventory (smokers, chisels, knives, rollers, caps, cages, filters etc.)	15,0	5	3,0
Триммер для травы / Grass trimmer	10,0	10	1,0
Деревянные рамки / Wooden frames	10,0	1	10,0
Холстики / Canvases	6,0	1	6,0
Искусственная вощина, 20 кг / Artificial wax foundation, 20 kg	40,0	1	40,0
Сахарный песок, 540 кг / Granulated sugar, 540 kg	45,9	1	45,9
Лечебные средства и препараты для привлечения роев, подсадки маток и т. п. / Remedy and preparations for attracting swarms, introducing queens, etc.	6,0	1	6,0
Затраты автотранспорта, 30 часов / Vehicle costs, 30 hours	25,0	1	25,0
Затраты на реализацию продукции / Costs of product sales	20,0	1	20,0
Прочие затраты / Others costs	30,0	1	30,0
Итого / Total	-	-	259,3

Пчелиные семьи по установленным правилам относят к оборотным фондам, которые ежегодно списываются, при этом их стоимость переносят на продукцию и вновь принимают на учет. Таким путем в хозяйстве отражаются изменения в количестве и качестве пчелиных семей. В условиях небольшого ЛПХ ведение подобного учета излишне затрудняет расчет, и отражать их в перечне расходов и новых поступлений особой необходимости нет. Но для

калькуляции себестоимости продукции требуется учитывать затраты на собственно пчелиные семьи, пусть даже понесенные 15 лет назад.

Примем, что стоимость одной пчелиной семьи составляет 20 тыс. руб. В последние годы это реальная цена пчелиной семьи средней силы в самом начале активного сезона на Камчатке. Пчелы могут быть приобретены в других хозяйствах, но в действительности пчеловод всегда сам расширяет пасеку из нескольких семей, при этом затрачивая средства, рабочее время, но также и приобретая опыт работы. В дальнейшем семьи пчел из года в год поддерживаются в приблизительно одинаковых рабочих кондициях за счет внутренних ресурсов пасеки (обеспечение новыми пчелиными матками, манипуляции между семьями количеством пчелы, рамками расплода, кормов), что в затратах мы не учитывали. Общая стоимость 30 пчелиных семей составит 600 тыс. руб.

Для определения продолжительности использования одной пчелиной семьи, как долгосрочного возобновляемого биологического актива, некоторыми специалистами в области бухгалтерского учета предлагалось рассматривать длительность репродуктивной деятельности пчелиной матки – от 2 до 5 лет [13], несмотря на то, что в настоящее время при применении современных технологий содержания пчелиных семей рекомендуется ежегодно менять перезимовавших маток на молодых. В условиях Камчатки из-за сильной ройливости пчел ежегодная смена маток почти неизбежна. Но совершенно очевидно, что при постоянном должном уходе пчелиная семья, как хозяйственная единица, может существовать и работать неограниченно долго. Мы предложили распределить эти изначальные затраты на 20 лет (условно – средняя продолжительность деятельности камчатского пчеловода-любителя). Ежегодно на погашение стоимости 30 пчелиных семей необходимо 30 тыс. руб.

В условиях Камчатки для эффективного и быстрого обслуживания пасеки, как и в некоторых других регионах при применении определенных технологий, необходима достаточная обеспеченность хозяйства запасными ульями. Их количество должно на 50 % превышать число основных пчелиных семей[4].

В последние 15–20 лет все шире используются ульи из пенополиуретана, срок службы которых превышает 20 лет[5]. Стоимость одного комплекта (вместе с деревянными рамками) составляет 12 тыс. руб., а 45 ульев обойдутся в 540 тыс. руб. Отчисления по этой статье составят 27 тыс. руб. в год.

Ежегодно наибольшую долю затрат в средствах производства занимает стоимость сахара и искусственной вощины – 85,9 тыс. руб. Заметная часть приходится на затраты, связанные с проездом к хозяйству и перевозке груза, а также на реализацию продукции (стоимость тары, работы по упаковке и доставке меда потребителям и др.) – всего 45 тыс. руб. Такие малозначимые затраты, как земельный налог и налог на имущество, оплата электроэнергии, водоснабжения, возможный ремонт оборудования, другие мелкие непредусмотренные издержки относятся к статье «Прочие».

В условиях более крупных специализированных пчеловодческих хозяйств предполагается обязательное наличие зданий: 1) склад для хранения временно неиспользуемых ульев, суши, инвентаря; 2) технологическое помещение, где проводится откачка и фасовка меда, перетопка воска, наращивание рамок искусственной вощины и другие работы; 3) административное помещение; 4) омшаник для зимовки пчелиных семей. На Камчатке, как отмечалось выше, все пасеки любительские, которые создавались на базе имеющихся приусадебных участков, где были различные строения, которые можно приспособить под необходимые функции. Многие пчеловоды проводят зимовку пчел на воле, не используя никаких закрытых помещений. То есть в нашем случае затраты на амортизацию зданий в расчет не включались.

Исходя из представленной информации, ежегодные отчисления на средства производства и другие накладные расходы составляют 259,3 тыс. руб., а общие годовые затраты – 728,9 тыс. руб.

Востребованность меда местного производства. Как показывает практика, потребность в местном меде на Камчатке существует. Несмотря на высокую цену реализации, продукт весьма востребован, что обусловлено низким уровнем доверия к качеству привозных медов. В регионах, где не развита местная отрасль пчеловодства, эта проблема встает особенно остро.

[4]Коптев В. С. Разведение и содержание пчел в Сибири. Новосибирск: Западно-Сибирское книж. изд-во, 1979. 104 с.
[5]Ульи из ППУ: плюсы, минусы, технология заливки. [Электронный ресурс].
URL: https://himtrust.ru/company/articles/uli-iz-ppu-plyusy-minusy-tekhnologiya-zalivki (дата обращения 13.02.2023)

Мед не является продуктом повседневного спроса. Зачастую его используют в лечебно-профилактических, а иногда и терапевтических целях, поэтому к его натуральности и качеству в целом предъявляются особые требования. В последние два десятилетия быстрыми темпами развивается производство так называемого «искусственного меда» – глюкозно-фруктозного сиропа из кукурузного крахмала, виноградных выжимок, фруктов и другого дешевого сырья [14], который широко используется в различных отраслях пищевой промышленности. Такой продукт недобросовестные производители купажируют в разных пропорциях с натуральным медом и продают под маркой настоящего. Установить подделку становится невозможно. По оценкам некоторых специалистов, в настоящее время на прилавках России до 80 % и более предлагаемого меда – фальсификат[6]. И с каждым годом по всему миру масштабы проблемы все более нарастают. Но если в регионе присутствует пчеловодство, любой его житель имеет возможность приобретать непосредственно у пчеловода полностью натуральную продукцию. Складываются доверительные отношения между производителем и потребителем: первый – дорожит репутацией и стремится обеспечить высокое качество меда, второй – доверяет продавцу и готов платить соответствующую цену.

У каждого камчатского пчеловода, кроме обычных покупателей, как правило, существует своя постоянная клиентура, которая из года в год обеспечивает спрос без дополнительных расходов на реализацию. Мед раскупается обычно в течение нескольких месяцев после завершения медосборного сезона. По экспертной оценке продается всего от 5 до 15 тонн ежегодно, но этого количества крайне недостаточно для удовлетворения потребностей населения в местном продукте.

Камчатский мед имеет высокое качество как по товарным органолептическим, так и по биохимическим свойствам [15]. Мы предполагаем, что это связано, прежде всего, с низкой валовой медовой продуктивностью пчелиных семей в местных условиях (в разные годы в среднем от 20 до 30 кг). Небольшое количество меда пчелы более тщательно очищают и перерабатывают, в отличие от больших объемов нектара, поступающего в пчелиное гнездо при более интенсивном медосборе.

Расчет размера прибыли и уровня рентабельности. В настоящее время валовая медовая продуктивность при нормальном содержании пчелиных семей за ряд лет в условиях Камчатки в среднем составляет около 25 кг (у разных пчелиных семей от 10 до 50 кг). Предположим, что из этого количества 18 кг приходится на товарный мед, который откачивается. Общее количество меда на пасеке в 30 пчелиных семей для реализации составит 540 кг. Кроме того, в результате распечатывания меда (для откачки) и выбраковки старых сотов от каждой семьи получают около 1 кг воска.

Цена камчатского меда осенью 2024 г. в среднем составила 1600 руб/кг. Пчеловоды продают на рынке воск небольшими порциями (по 100-200 г) по цене 3000 руб/кг. Однако объемы реализации в этом случае невелики. Бóльшая часть воска остается непроданной. Изредка удается продавать воск партиями по 10–15 кг и более по цене 1500 руб/кг. Некоторые пчеловоды, выезжая на материк, везут воск для обмена на искусственную вощину с небольшой доплатой. Цена воска в этом случае составляет около 900 руб/кг, такой уровень цен на него держится уже более 5 лет. Условно примем цену воска 1000 руб/кг, в итоге годовая выручка на камчатской пасеке в 30 пчелиных семей составит 894 тыс. руб.

Итак, расчет показал, что на Камчатке пасека численностью 30 пчелиных семей при производстве натурального меда позволит получать прибыль в размере 165,1 тыс. руб. (894,0 – 728,9), а уровень рентабельности составит 22,5 % (165,1/728,9 х 100). Такой уровень рентабельности даст возможность стабильно работать и постепенно развиваться, даже мелкому хозяйству.

В описанной схеме не была учтена возможность получения, кроме меда и воска, маточного молочка, как сопутствующей продукции, поскольку почти каждая пчелиная семья неизбежно закладывает большое число маточников, которые нужно удалять [16]. Производство этого товара может еще больше поднять доходность пасеки.

[6]Девятова П. Неправильный мед. Минсельхоз РФ встревожен фальшивками в пчеловодстве. Аргументы и факты – от 29.09.2022.
URL: https://aif.ru/money/market/nepravilnyy_myod_minselhoz_rf_vstrevozhen_falshivkami_v_pchelovodstve
(дата обращения: 22.12.2022)

Такой уровень рентабельности пока возможен только на относительно небольшой пасеке, в случае работы более крупного хозяйства можно ожидать ряд серьезных препятствий. Кроме того, что возрастут затраты для оплаты страховых и налоговых отчислений, на амортизацию основных фондов (здания, машины, механизмы и т. д.) и на погашение других накладных расходов, рост производительности труда окажется весьма затруднительным. Причина в том, что на Камчатке роевой инстинкт пчел ограничивает нагрузку на одного пчеловода в июне-июле численностью не более 50–60 пчелиных семей (при условии очень напряженной работы). Для преодоления данной ситуации необходимо создание эффективной технологии содержания пчелиных семей, полностью предупреждающей возникновение в них роевого настроения.

Также следует учесть, что сейчас каждый пчеловод, который продает мед, производит его небольшое количество – приблизительно от 100 кг до одной тонны. Такой объем достаточно легко продавать, но при увеличении количества камчатского меда реализовывать товар на рынке по соответствующей затратам цене будет сложнее. Потребуются дополнительные расходы на рекламу и маркетинг продукции.

С другой стороны, учитывая в последние годы интенсивное развитие на Камчатке туристической отрасли [17] и значительное увеличение турпотока в регион, можно ожидать рост спроса на местную продукцию, в том числе на продукцию пчеловодства. Соответственно возможности по сбыту местного меда могут существенно возрасти. В этом случае, при условии успешной разработки противороевой технологии, можно предположить, что будут создаваться более крупные пчеловодческие предприятия.

Заключение. На текущий момент уровень рентабельности производства меда на Камчатке может составлять 22,5 %. При сохранении текущих условий пчеловодство в Камчатском крае будет и дальше существовать в форме личных подсобных хозяйств и даже постепенно развиваться, но оставаясь при этом для владельцев пчел источником только дополнительного дохода. В других северных регионах, где пасеки начали возникать относительно недавно, по свидетельствам пчеловодов наблюдается похожая ситуация: меда производится немного, но продукт продается по высокой цене, благодаря хорошему качеству и ограниченному количеству товара. О перспективах развития в таких зонах промышленного пчеловодства – вопрос остается открытым. Суровые климатические условия, недостаточная изученность проявляемых в них биологических особенностей медоносной пчелы и отсутствие специальных технологий требуют внимательного индивидуального подхода к каждой пчелиной семье. Необходимо проведение достаточно глубоких исследований и создание соответствующих технологических схем, позволяющих поставить производство меда и другой пчеловодческой продукции «на поток». Также в случае производства больших объемов предстоит на практике определить возможности их успешной реализации.

Список литературы

1. Бобылев С. Н. Устойчивое развитие: новое видение будущего? Вопросы политической экономии. 2020;(1):67–83. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3753332 EDN: MSYSNK

2. Ускова Т. В. Пространственные аспекты устойчивого развития региона. Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2021;(1):81–88. DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2021-1-81-88 EDN: PBPJMB

3. Аганбегян А. Г. Социально-экономическое развитие регионов России в условиях новых санкций. Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2022;(2(69)):10–22. DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2022-2-10-22 EDN: TIGCQJ

4. Замятина М. Ф. Проблемы и перспективы устойчивого развития российских регионов в контексте геополитической турбулентности. Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023;(1(72)):27–39. DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2023-1-27-39 EDN: DEBDAW

5. Риски и возможности развития регионов России в условиях санкционного давления. Отв. ред. Ю. Г. Лаврикова. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2022. 644 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=50449682 EDN: EJQUWI

6. Пыльнева Т. Г. Устойчивое развитие региона в условиях структурной трансформации и санкционной политики (на примере Центрального федерального округа). Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2024;(2(77)):4–11. DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2024-2-4-11 EDN: QMGKAJ

7. Снегур П. П. Медоносная пчела на Камчатке: перспективы и проблемы. Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: докл. IX международ. научн. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. С. 106–124.

8. Черевко Ю. А., Кочетов А. С. Эффективность использования бессотовых пакетных пчел в Якутии. Технология производства продукции пчеловодства: сб. тр. М.: Колос, 1980. С. 63–69.

9. Данильченко С. Л. Развитие фермерских хозяйств в постсоветской России: достижения и проблемы. Аграрная история. 2023;(16):3–11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=59460416 EDN: PKSDPS

10. Снегур П. П. Перспективы пчеловодства в Камчатском крае. Региональные проблемы развития Дальнего Востока России и Арктики: тез. докл. II Национальн. Всероссийс. научн.-практ. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2021. С. 84–87. DOI: https://doi.org/10.53657/9785961004069_84 EDN: CLHNMA

11. Афанасьева Е. Ю. Учет затрат и калькулирование себестоимости продукции пчеловодства: проблемы и направления развития. ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2017;(6):84–97. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=32232469 EDN: YKVANC

12. Набиева А. Р. Развитие рынка продукции пчеловодства в регионах России. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2022;(1):3–11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=48565484 EDN: OEYOXE

13. Хоружий Л. И., Джикия К. А., Хоружий В. И. Биотрансформация и учет биологических активов по справедливой стоимости в пчеловодстве. Вестник профессиональных бухгалтеров. 2016;(2):36–43. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26239713 EDN: WCFHLH

14. Яргин С. В. Глюкозно-фруктозный сироп: комментарии для российского читателя. Главный врач Юга России. 2017;(4(57)):64–66. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30496243 EDN: ZRJBWF

15. Снегур П. П., Гончаров Б. И. О некоторых признаках камчатского пчелиного меда. Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: мат-лы XX Международ. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2019. С. 85–88. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41756102 EDN: VSRLQV

16. Снегур П. П., Гончаров Б. И., Белоусова Э. С. Возможность получения пчелиного маточного молочка в условиях Камчатки. Дальневосточный аграрный вестник. 2018;(4(48)):218–223. DOI: https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14105 EDN: YUNRAT

17. Рогалева Н. Л., Михайлова Т. Р. Практический аспект исследования портрета потребителя туристских услуг Камчатского края в условиях современной реальности. Экономика, предпринимательство и право. 2023;(13(12)):5581–5594. DOI: https://doi.org/10.18334/epp.13.12.119960 EDN: QIHGHH

References

1. Bobylev S. N. Sustainable development:a new vision of the future? *Voprosy politicheskoy ekonomii* = Problems in Political Economy. 2020;)(1):67–83. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3753332

2. Uskova T. V. Spatial aspects of the region's sustainable development. *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya* = Economics of the North-West: problems and prospects of development. 2021;(1):81–88. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2021-1-81-88

3. Aganbegyan A. G. Social and economic development of russian regions under new sanctions. *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya* = Economics of the North-West: problems and prospects of development. 2022;(2(69)):10–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2022-2-10-22

4. Zamyatina M. F. Problems and prospects of sustainable development of the Russian regions in the context of geopolitical turbulence. *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya* = Economics of the North-West: problems and prospects of development. 2023;(1(72)):27–39. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2023-1-27-39

5. Risks and opportunities for the development of Russian regions in the context of sanctions pressure. Ed. Yu. G. Lavrikova. Ekaterinburg: *Institut ekonomiki UrO RAN*, 2022. 644 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50449682

6. Pylneva T. G. Sustainable development of the region in the context of structural transformation and sanctions policy (on the example of the Central federal district). *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya* = Economics of the North-West: problems and prospects of development. 2024;(2(77)):4–11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52897/2411-4588-2024-2-4-11

7. Snegur P. P. The honey bee in Kamchatka: prospects and problems. Conservation of the biodiversity of Kamchatka and adjacent seas: Proceedings of the IX International scientific conference. Petropavlovsk-Kamchatskiy: *Kamchatpress*, 2009. pp. 106–124.

8. Cherevko Yu. A., Kochetov A. S. The efficiency of using cellless package bees in Yakutia. Beekeeping production technology: collection of articles. Moscow: *Kolos*, 1980. pp. 63–69.

9. Danil'chenko S. L. Development of farms in post-soviet Russia: achievements and problems. *Agrarnaya istoriya* = Agrarian History. 2023;(16):3–11. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=59460416

10. Snegur P. P. Prospects for beekeeping in the Kamchatka territory. Regional problems of the development of the Russian Far East and the Arctic: Abstracts of the II National All-Russian scientific and practical conference. Petropavlovsk-Kamchatskiy: *Kamchatpress*, 2021. pp. 84–87. DOI: https://doi.org/10.53657/9785961004069_84

11. Afanasyeva E. Yu. Beekeeping production costcalculation and accounting: problems and ways of development. *ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika* = ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice. 2017;(6):84–97. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32232469

12. Nabieva A. R. Development of the market of beekeeping products in the regions of Russia. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki* = Fundamental and applied researches of the cooperative sector of the economy. 2022;(1):3–11. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48565484

13. Khoruzhiy L. I., Dzhikiya K. A., Khoruzhiy V. I. Biological transformation and accounting of biological assets at the fair value in the apiculture. *Vestnik professional'nykh bukhgalterov* = Bulletin for Professional Accountants. 2016;(2):36–43. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26239713

14. Yargin S. V. A glucose-fructose syrup: commentary for Russian readers. *Glavnyy vrach Yuga Rossii*. 2017;(4(57)):64–66. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30496243

15. Snegur P. P., Goncharov B. I. About some peculiarities of kamchatka honey. Conservation of the biodiversity of Kamchatka and adjacent seas: Proceedings of the XX International conference. Petropavlovsk-Kamchatskiy: *Kamchatpress*, 2019. pp. 85–88. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41756102

16. Snegur P. P., Goncharov B. I., Belousova E. S. Possibility for royal jelly production in Kamchatka. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2018;(4(48)):218–223. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14105

17. Rogaleva N. L., Mikhaylova T. R. Practical aspect of studying the consumer of tourist services of the Kamchatka territory amidst modern reality. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i parvo* = Journal of Economics, entrepreneurship and law. 2023;(13(12)):5581–5594. DOI: https://doi.org/10.18334/epp.13.12.119960

Сведения об авторах

Снегур Павел Петрович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Партизанская, д. 6, г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация, 683000, e-mail: kftigkamchatka@mail.ru; старший научный сотрудник, Камчатский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Центральная, д. 4, п. Сосновка, Елизовский р-он, Камчатский край, Российская Федерация, 684033,
e-mail: khasbiullina@kamniish.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4210-3222**

✉ **Дьяков Максим Юрьевич**, кандидат экон. наук, старший научный сотрудник, Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
ул. Партизанская, д. 6, г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация, 683000,
e-mail: kftigkamchatka@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7527-6018**, e-mail: maxus800@mail.ru

Information about the authors

Pavel P. Snegur, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Partizanskaya str., 6, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russian Federation, 683000, e-mail: kftigkamchatka@mail.ru; senior researcher, Kamchatka Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal Research Center «N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources», Tsentralnaya str., 4, Sosnovka, Elizovsky District, Kamchatka region, Russian Federation, 684033, e-mail: khasbiullina@kamniish.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-4210-3222**

✉ **Maxim Yu. Dyakov,** PhD in Economics, senior researcher, Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Partizanskaya str., 6, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russian Federation, 683000, e-mail: kftigkamchatka@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7527-6018,**
e-mail: maxus800@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

К 90-летию Дзюина Герцена Петровича – ведущего ученого Удмуртского НИИСХ в области почвоведения и агрохимии, заслуженного работника сельского хозяйства Удмуртской Республики

Герцен Петрович Дзюин родился 23 апреля 1935 г. После окончания агрономического факультета Ижевского сельскохозяйственного института в 1962 г. работал по распределению главным агрономом колхоза.

После учебы в аспирантуре (1964–1967 гг.) был приглашён в 1969 г. на вакантную должность старшего научного сотрудника Удмуртской сельскохозяйственной опытной станции. Затем занимал должности заведующего отделами агрохимии, технологии полевых культур. В 1971 г. Г. П. Дзюин защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Почвоведение», в 1981 г. ему присвоено учёное звание старшего научного сотрудника по специальности «Агрохимия». В период с 1987 по 1997 год Герцен Петрович – заместитель директора по научной работе. После перехода опытной станции в статус института возглавил отдел земледелия, агрохимии и почвоведения. Общий трудовой стаж на 01.01.2018 г. составляет 63 года, научный – 51 год.

Научно-исследовательская деятельность Г. П. Дзюина посвящена изучению широкого круга вопросов почвоведения, агрохимии и земледелия. Под его руководством проведено почвенное обследование земель Удмуртской Республики на площади более 40 тыс. га, изучены свойства и пригодность пойменных почв для с.-х. использования. Определен состав и концентрация почвенных растворов дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почв в зависимости от погодных условий и выращиваемых культур.

В области агрохимии Г. П. Дзюин разработал системы применения удобрений для почв с широким диапазоном уровня плодородия, обеспечивающие продуктивность севооборотов до 5,0 т/га зерн. ед. и более. Экспериментально обосновал и предложил технологию одновременного проведения известкования и фосфоритования на кислых почвах, показал влияние уровня содержания подвижного алюминия в почве на её кислотность и урожайность культур. Занимаясь программированием урожайности, разработал методические рекомендации для условий Удмуртской Республики. Под его руководством и при непосредственном участии проведена большая работа по разработке нормативов удобрений, плодородия почв, прибавок урожаев с.-х. культур.

Под руководством Г. П. Дзюина в 1975–1999 гг. выполнялись исследования по изучению соломы в качестве удобрения, интенсивных технологий возделывания зерновых культур, эффективности возрастающих доз NPK и микроудобрений в севообороте, а также органических удобрений в сочетании с разноглубинной обработкой. Разработана технология произ-

водства биогумуса на основе использования вермикультуры и изучена его эффективность в закрытом грунте.

На основе исследований 2001–2009 гг. разработаны ресурсосберегающая технология использования биоресурсов для севооборотов с сидеральными парами, а также приёмы оптимизации режима органического вещества и элементов питания дерново-подзолистой почвы. В области земледелия под руководством Г. П. Дзюина разработана комбинированная энергосберегающая почвозащитная система обработки дерново-подзолистой почвы (отмечена Дипломом Россельхозакадемии за лучшую завершённую научную работу 2005 г.), даны рекомендации по формированию адаптивных севооборотов. Проведено агроландшафтное районирование территории Удмуртской Республики, разработаны типовые модели для адаптивно-ландшафтных систем земледелия и осуществлён перенос их параметров в условия производственных структур Удмуртского НИИСХ (2001–2004 гг.).

Результаты исследований Герцена Петровича Дзюина вошли в многочисленные республиканские, региональные и зональные рекомендации, изданные в разные годы. Является автором (соавтором) 144 научных работ, в том числе нескольких монографий. Под руководством Г. П. Дзюина для 11 хозяйств Удмуртской Республики разработаны организационно-хозяйственные планы, научные основы ведения сельского хозяйства, программы развития и системы земледелия, которые внедряются на больших площадях в хозяйствах республики.

Герцен Петрович Дзюин многократно награждался почётными грамотами и дипломами, в том числе ВАСХНИЛ и Россельхозакадемии, ЦК КПСС и Совета Министров СССР, Президента Удмуртской Республики. Среди наград – медали «За преобразование Нечерноземья РСФСР (1983 г.), «50 лет начала освоения целинных земель» (2004 г.). Удостоен почётного звания «Заслуженный работник сельского хозяйства Удмуртской Республики» (1998 г.). Решением Президиума Российской Академии Естествознания Г. П. Дзюину присвоено почетное звание «Заслуженный работник науки и образования» (2007 г.).

Дорогой Герцен Петрович, сердечно поздравляем Вас с 90-летием!

Выражаем признательность за самоотверженное служение аграрной науке региона Евро-Северо-Востока, конструктивное взаимодействие с учеными научных учреждений по выполнению сквозных исследований Северо-Восточного регионального научно-методического центра Россельхозакадемии, пример интеллигентности и научной добросовестности. Зная Вас как ученого, обладающего высочайшим профессионализмом и невероятной трудоспособностью, благодарим за обеспечение преемственности поколений. Желаем Вам, Герцен Петрович, стабильного здоровья и долголетия, неугасающего интереса к жизни!

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Клеверотерка-скарификатор (КС-0,3П) – завершенная научная разработка

Авторы – коллектив лаборатории зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: доктор техн. наук Александр Иванович Бурков, кандидаты техн. наук Андрей Леонидович Глушков, Виктор Алексеевич Лазыкин, Валентин Юрьевич Мокиев.

Клеверотерка-скарификатор (КС-0,3П) предназначена для вытирания и скарификации семян клевера и других бобовых трав. Используется в технологических линиях послеуборочной обработки семян трав или автономно. Техническая новизна подтверждена патентами РФ на изобретения (№ 2549929, № 2679842).

По результатам испытаний на Кировской МИС (протокол № 06-01-2024) установлено, что клеверотерка-скарификатор КС-0,3П соответствует основным требованиям ТЗ и НД по показаниям назначения, энергооценке и безопасности конструкции. Рекомендуется к применению в сельскохозяйственном производстве.

Отличительные особенности:

- увеличенная производительность;
- высокая степень вытирания и скарификации;
- высокая эффективность очистки семян от легких примесей;
- низкое дробление и потери семян;
- простота настройки и подготовки к работе;
- стабильность технологического процесса;
- низкая запыленность воздуха в зоне обслуживания машины.

Технические данные

Производительность при вытирании и скарификации семян бобовых трав, т/ч	0,37…0,49
Степень вытирания и скарификации не менее, %	95,0
Дробление семян при вытирании и скарификации не более, %	1,5 и 2,0
Эффект очистки семян от легких примесей, не менее, %	60,0
Потери семян при сепарации, не более, %	1,5
Установленная мощность электродвигателей, кВт	3,7
Площадь тканевого фильтра, м^2	3,0
Габаритные размеры (в рабочем положении) не более, мм: - длина - ширина - высота	 3000 2500 2800
Масса не более, кг	400

Контакты: +7(8332) 33-10-03, zernoochistka@fanc-sv.ru
зав лабораторией зерно- и семяочистительных машин
Андрей Леонидович Глушков