ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ВЕСЦІ
НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАВУК. 2025. Т. 63, № 2

ИЗВЕСТИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2025. Т. 63, № 2

Журнал основан в январе 1963 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 396 от 18.05.2009

Главный редактор

Владимир Григорьевич Гусаков – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Редакционная коллегия:

П. П. Казакевич – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
(*заместитель главного редактора*)
В. В. Азаренко – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
(*заместитель главного редактора*)
Е. Ф. Борисова (*ведущий редактор*)
Д. М. Богданович – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь
С. А. Касьянчик – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
Д. И. Комлач – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь
С. А. Кондратенко – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
С. В. Кравцов – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, Жодино, Беларусь
А. П. Лихацевич – Институт мелиорации, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
З. В. Ловкис – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь
В. Л. Маханько – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, Самохваловичи, Беларусь

А. В. Мелещеня – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь
В. К. Пестис – Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь
А. В. Пилипук – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
П. В. Расторгуев – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
В. Н. Тимошенко – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь
Ю. К. Шашко – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

Редакционный совет:

И. М. Богдевич – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
Ф. И. Василевич – Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия
Д. Врона – Варшавский университет естественных наук, Варшава, Польша
Г. В. Гавардашвили – Институт водного хозяйства им. Ц. Е. Мирцхулава Грузинского технического университета, Тбилиси, Грузия
В. И. Долженко – Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия
В. М. Косолапов – Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса, Лобня, Россия
Я. П. Лобачевский – Отделение сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Россия
А. Б. Лисицын – Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия
А. Б. Молдашев – Казахский научно-исследовательский институт экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий, Алматы, Казахстан
А. Т. Мысик – журнал «Зоотехния», Москва, Россия
Б. А. Ривжа – Латвийская академия сельскохозяйственных и лесных наук, Рига, Латвия
В. Романюк – Институт технологических и естественных наук, Фаленты, Польша
Е. Н. Седов – Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Жилина, Россия
В. Станис – Литовский научно-исследовательский центр сельского и лесного хозяйства, Кедайнский район, Литва
Н. И. Стрекозов – Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Россия
У Син Хун – Академия сельскохозяйственных наук провинции Цзилинь, Чанчун, Китай
И. Г. Ушачев – Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия
И. П. Шейко – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь

Журнал рецензируется. Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Адрес редакции:
ул. Академическая, 1, к. 118, 220072, г. Минск, Республика Беларусь.
Тел.: + 375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru
vestiagr.belnauka.by

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.
Серия аграрных наук. 2025. Т. 63, № 2
Выходит на русском, белорусском и английском языках

Редактор *Е. Ф. Борисова*
Компьютерная верстка *М. Э. Юреня*

Подписано в печать 09.04.2025. Выход в свет 25.04.2025. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 56 экз. Заказ 74.
Цена номера: индивидуальная подписка – 14,48 руб., ведомственная подписка – 33,64 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука».
Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук, 2025

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

PROCEEDINGS
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

AGRARIAN SERIES, 2025, vol. 63, no. 2

The Journal was founded in 1963

Issued four times a year

Founded is the National Academy of Sciences of Belarus

The Journal was registered on May 18, 2009 by the Ministry of Information of the Republic of Belarus in the State Registry of Mass Media, reg. no. 396

The Journal is included in The List of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research in the Republic of Belarus and in the database of the Russian Scientific Citation Index (RSCI)

E d i t o r - i n - C h i e f

Vladimir G. Gusakov – Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

E d i t o r i a l B o a r d:

Petr P. Kazakevich – Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus (*Deputy Editor-in-Chief*)
Vladimir V. Azarenko – Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus (*Deputy Editor-in-Chief*)
Elena F. Borisova (*Lead Editor*)
Dmitry M. Bogdanovich – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus
Svetlana A. Kasyanchyk – Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Dmitry I. Komlach – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, Minsk, Belarus
Svetlana A. Kondratenko – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Siarhei U. Krautsou – Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Belarus
Anatol P. Likhatsevich – Institute for Land Reclamation, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Zenon V. Lovkis – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuff, Minsk, Belarus
Vadim L. Makhanko – Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, Samokhvalovichi, Belarus
Aleksey V. Meleshchenya – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuff, Minsk, Belarus
Vitold K. Pestis – Grodno State Agrarian University, Grodno, Belarus
Andrey V. Pilipuk – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Petr V. Rastorgouev – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Vladimir N. Timoshenko – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus
Yury K. Shashko – Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Editorial Council:

Iosif M. Bogdevich – Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Fedor I. Vasilevich – Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin, Moscow, Russia
Dariusz Wrona – Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland
Givi V. Gavardashvili – Institute of Water Management named after T. Mirtskhulava of the Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
Victor I. Dolzhenko – All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Pushkin, Russia
Vladimir M. Kosolapov – Federal Williams Research Centre of Forage Production and Agroecology, Lobnya, Russia
Yakov P. Lobachevsky – Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Andrey B. Lisitsyn – V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Altynbek B. Moldashev – Kazakh Research Institute of Economy of Agro-Industrial Complex and Rural Development, Almaty, Kazakhstan
Andrey T. Mysik – Journal "Zootechniya", Moscow, Russia
Baiba A. Rivža – Latvian Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Riga, Latvia
Wacław Romaniuk – Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
Evgeny N. Sedov – All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Russia
Vidmantas Stanys – Lithuanian Research Center for Agriculture and Forestry, Kėdainiai District, Lithuania
Nikolay I. Strekozov – Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Russia
Wu Xing-Hong – Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, China
Ivan G. Ushachev – Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia
Ivan P. Sheyko – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus

The Journal is included in The List of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research in the Republic of Belarus and in the database of Russian Science Citation Index (RSCI)

Address of the Editorial Office:
1, room 118, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus.
Tel.: + 375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru.
vestiagr.belnauka.by

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.
Agrarian series, 2025, vol. 63, no. 2
Printed in Russian, Belarusian and English

Editor *E. F. Borisova*
Computer imposition *M. E. Yurenia*

It is sent of the press 09.04.2025. Appearance 25.04.2025. Format 60×84 $^{1}/_{8}$. Offset paper. The press digital.
Printed pages 10,23. Publisher's signatures 11,3. Circulation 56 copies. Order 74.
Number price: individual subscription – 14,48 byn., departmental subscription – 33,64 byn.

Publisher and printing execution:
Republican unitary enterprise "Publishing House "Belaruskaya Navuka"
Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printing editions No. 1/18 dated August 2, 2013. License for the press No. 02330/455 dated December 30, 2013. Address: 40, F. Skaryna Str., 220084, Minsk, Republic of Belarus

© RUE "Publishing House "Belaruskaya Navuka",
Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series, 2025

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗМЕСТ

ЭКАНОМІКА

Киреенко Н. В., Борель К. В. Механизм трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики 95

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

Урбан Э. П., Гордей С. И. Состояние селекции, особенности семеноводства и технологии возделывания гибридов F_1 озимой ржи (*Secale cereale* L.) 115

Жуковский А. Г., Запрудский А. А., Бойко С. В., Немкевич М. Г., Бартош А. В. Ячмень озимый: видовой состав фитофагов, их вредоносность и оценка эффективности химических мероприятий 124

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

Оздемиров А. А., Хожоков А. А. Влияние генов на рост и развитие исследуемого поголовья помесных овец 145

МЕХАНІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

Азаренко В. В., Мисун В. Л., Мисун А. Л. Моделирование влияния природно-климатических и агрохимических факторов на эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы в условиях контролируемой производственной среды 154

Аксар Али Хан, Зия-Уль-Хак, Хафиз Султан Махмуд, Тахир Икбал, Мухаммад Ансар, Музаммил Хусейн, Мухаммад Аднан Ислам, Сайед Мудассир Раза, Ибрар Ахмад, Абу Саад. Проектирование, разработка и оценка работы машины для сбора оливок, управляемой трактором (*на английском языке*) 165

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

CONTENTS

ECONOMICS

Kireyenka N. V., Borel K. V. Mechanism of transformation of production and marketing system of agro-industrial complex of the Republic of Belarus in the context of digital economy 95

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

Urban E. P., Hardzei S. I. State of breeding, features of seed production and cultivation technology of F_1 winter rye hybrids (*Secale cereale* L.) 115

Zhukovsky A. G., Zaprudsky A. A., Boyko S. V., Nemkevich M. G., Bartosh A. V. Winter barley: species composition of phytophags, their harmfulness and assessment of chemical measures effectiveness 124

ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

Ozdemirov A. A., Khozhokov A. A. Influence of genes on growth and development of the studied population of cross-breed sheep 145

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

Azarenko V. V., Misun V. L., Misun A. L. Simulation of influence of natural and climatic and agrochemical factors on efficiency and safety of industrial cultivation of large-fruit cranberry in controlled production environment 154

Ali Khan Aksar, Zia-Ul-Haq, Hafiz Sultan Mahmood, Tahir Iqbal, Muhammad Ansar, Muzammil Husain, Muhammad Adnan Islam, Syed Mudassir Raza, Ibrar Ahmad, Abu Saad. Design, development and performance evaluation of a tractor operated olive harvester 165

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЭКОНОМИКА
ECONOMICS

УДК 339.187:63-021.66(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-95-114

Поступила в редакцию 27.12.2024
Received 27.12.2024

Н. В. Киреенко[1], К. В. Борель[2]

[1]Институт повышения квалификации и переподготовки кадров АПК учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь

МЕХАНИЗМ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Аннотация. Трансформация национальной системы ведения бизнеса Республики Беларусь в условиях цифровой экономики расширяет возможности субъектов хозяйствования в сфере производства и реализации продукции. В рамках устойчивого развития экономики агропромышленный комплекс (АПК) призван не только создавать необходимые резервы продуктов питания и сельскохозяйственного сырья для повышения уровня продовольственного обеспечения, но и гарантировать эффективное их продвижение на внутренний и внешний рынок с учетом покупательского спроса населения. Вместе с тем, как показывает мировой опыт, по мере внедрения инструментов управления процессами цифровизации возникает необходимость трансформации производственно-сбытовой системы (ПСС) АПК Республики Беларусь на основе научно обоснованных подходов выстраивания новых конфигураций. Определена сущность, закономерности и принципы формирования современной ПСС, что позволило с учетом международной практики выделить особенности организации и управления каналами сбыта аграрной продукции в условиях цифровой экономики. Проведен анализ функционирования ПСС и рыночной инфраструктуры АПК в Республике Беларусь, а также выполнена оценка уровня цифрового развития аграрных организаций на основе интегрального показателя, включающего индексы роста нематериальных активов, стоимости основных средств, добавленной стоимости и снижения трудоемкости основных видов продукции. В дополнение разработан механизм совершенствования организации производства и системы управления каналами сбыта продукции на основе цифровизации, включающий концепцию создания оптово-распределительных центров (ОРЦ) для расширения экономического взаимодействия субъектов на основе государственно-частного партнерства. Практическое внедрение полученных результатов будет способствовать формированию новых цепочек поставок, развитию цифровых и аналитических платформ, изменению моделей торговли, обеспечивающих трансформацию внутренних взаимосвязей между субъектами ПСС АПК и диверсификацию каналов распределения продукции за счет электронных торговых площадок, ОРЦ, маркетплейсов.

Ключевые слова: производственно-сбытовая система, агропромышленный комплекс, трансформация, цифровая экономика, цифровое развитие, цифровизация, механизм, методика, рыночная инфраструктура, государственно-частное партнерство, оптово-распределительный центр, эффективность

Для цитирования: Киреенко, Н. В. Механизм трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики / Н. В. Киреенко, К. В. Борель // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 95–114. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-95-114

Natallia V. Kireyenka[1], Konstantin V. Borel[2]

[1]Institute for Advanced Training and Retraining of Agricultural Personnel of the Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus
[2]Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

MECHANISM OF TRANSFORMATION OF PRODUCTION AND MARKETING SYSTEM OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE CONTEXT OF DIGITAL ECONOMY

Abstract. Transformation of the national business system of the Republic of Belarus in the digital economy expands the capabilities of business entities in the field of production and sales. As part of sustainable economic development, the agroindustrial complex (AIC) is designed not only to create the necessary reserves of food products and agri-

© Киреенко Н. В., Борель К. В., 2025

cultural raw materials to increase the level of food supply, but also to ensure their effective promotion to the domestic and foreign markets, taking into account consumer demand. At the same time, as world experience shows, as digitalization process management tools are introduced, there is a need to transform the production and marketing system (PMS) of AIC of the Republic of Belarus based on scientifically based approaches to building new configurations. The paper defines the essence, patterns and principles of formation of the modern PMS, which made it possible, taking into account international practice, to highlight the features of the organization and management of distribution channels for agricultural products in conditions of digital economy. Analysis of the PMS functioning and the market infrastructure of AIC in the Republic of Belarus has been carried out, and the level of digital development of agricultural organizations has been assessed based on an integral indicator that includes indices of growth of intangible assets, cost of fixed assets, added value and reduction of labor intensity of the main types of products. In addition, a mechanism has been developed to improve the organization of production and the system for managing product distribution channels based on digitalization, including the concept of creating wholesale distribution centers (WDC) to expand economic interaction between entities based on public-and-private partnerships. Practical implementation of the obtained results will contribute to formation of new supply chains, development of digital and analytical platforms, changes in trade models, ensuring transformation of internal relationships between entities of the PMS of AIC and diversification of product distribution channels through electronic trading platforms, WDCs, and marketplaces.

Keywords: production and marketing system, agro-industrial complex, transformation, digital economy, digital development, digitalization, mechanism, methodology, market infrastructure, public-and-private partnership, wholesale distribution center, efficiency

For citation: Kireyenka N. V., Borel K. V. Mechanism of transformation of production and marketing system of agro-industrial complex of the Republic of Belarus in the context of digital economy // *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 2, pp. 95–114 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-95-114

Введение. Агропромышленный комплекс (АПК) является одной из важнейших системообразующих сфер национальной экономики, обеспечивающей продовольственную безопасность и оказывающей решающее влияние на здоровье и качество жизни населения. Специфичность его роли обусловливается производством продуктов питания как основы жизнедеятельности людей и воспроизводства рабочей силы, а также производством сырья для многих видов потребительских товаров и продукции производственного назначения. Механизм и структура функционирования АПК Республики Беларусь долгие годы являлись практически неизменными. Наблюдаемое в последнее десятилетие развитие рыночных институтов и цифровых технологий привело к актуализации вопроса и соответствующей трансформации производственно-сбытовой системы (ПСС). Последняя направлена на управление товарным потоком, эффективную интеграцию поставщиков материальных ресурсов, производителей сельскохозяйственной продукции и продовольствия, их потребителей, логистических, торговых, складских и других организаций. Эти положения нашли свое отражение в нормативных правовых документах, принятых на национальном и межгосударственном уровнях, основными из которых являются: Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы[1], Программа деятельности Правительства Республики Беларусь до 2025 года[2], Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы[3], Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы[4],

[1] О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г. № 59. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100059 (дата обращения: 20.12.2024).

[2] Об утверждении Программы деятельности Правительства Республики Беларусь на период до 2025 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 дек. 2020 г. № 758. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22000758 (дата обращения: 25.12.2024).

[3] Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Респ. Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292 (дата обращения: 23.12.2024).

[4] О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 2 февр. 2021 г. № 66. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100066 (дата обращения: 25.12.2024).

Стратегические направления развития евразийской экономической интеграции до 2025 года[1].

Выполненный нами анализ литературных источников показал, что теоретические основы производственно-сбытовых отношений заложены в научных школах и экономических теориях К. Маркса, Ф. Энгельса, К. Менгера, Ф. Визера, Е. Бем-Баверка, А. Маршалла, Л. Вальраса, У. Митчелла, Т. Веблена, Р. Коуза [1–9]. На современном этапе ПСС утвердилась как одна из основных парадигм теории и практики развития продовольственной системы, в основе которой лежат фундаментальные концепции сравнительного преимущества и специализации производства. В условиях инновационного развития мировой и национальной экономики возникла необходимость совершенствования ПСС, что обусловило углубленное изучение данного направления. Так, научные разработки И. Л. Акулича, Д. Дж. Бауэрсокса, Д. Дж. Клосса, Л. Ф. Догиля, Н. В. Киреенко, М. Кристофера, П. Ларсона, Л. В. Пакуш, С. Н. Резникова, Д. Роджерса, О. Н. Фетюхиной базируются на эффективности различных каналов продвижения аграрной продукции на внутренний и внешний рынок, а также на комплексе общих и специальных направлений их развития на основе маркетинга и логистики [10–18]). В соответствии с интегрированным управлением ряд исследователей используют подход интегрального менеджмента при планировании деятельности ПСС и принятии управленческих решений на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях системы продовольственного обеспечения [19–24]. Необходимо отметить, что в настоящее время как отечественными, так и зарубежными учеными акцент сделан на устойчивости экономических, социальных и экологических составляющих цепочек поставок [25–29].

Вместе с тем, несмотря на высокую значимость проведенных ранее исследований, следует отметить, что по мере цифровизации национальной экономики возникает необходимость дальнейшей систематизации и разработки новых инструментов управления процессами производства и сбыта аграрной продукции. В этой связи в теоретическом плане важным является обоснование особенностей организации производства и управления каналами сбыта аграрной продукции в условиях цифровой экономики; в методическом – требуется систематизация подходов к оценке эффективности производства и сбыта продукции АПК, а также разработка методики оценки уровня цифрового развития ПСС организации; в практическом – разработка механизма трансформации ПСС АПК, в том числе за счет применения цифровых технологий.

Решение вышеуказанных проблем в рамках государственной аграрной политики Республики Беларуси имеет теоретическое и практическое значение. *Цель исследований* – разработка механизма трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики, обеспечивающего устойчивое развитие субъектов хозяйствования и усиление их конкурентных преимуществ на внутреннем и внешнем рынке.

Трансформация производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики. Обеспечение эффективного функционирования национального АПК представляет собой актуальную задачу как в теоретическом и методическом, так и в практическом аспекте. Установлено, что категория «производственно-сбытовая система АПК» применяется исключительно в рамках русскоязычных научных трудов [13, 30–40]. В то время как в зарубежных источниках отсутствует схожий термин или его прямой перевод. Так, ряд исследователей [41–46], рассматривая ПСС как процесс создания стоимости продукта, чаще используют процессный подход в границах рассмотрения понятия «value chain» («цепочка ценности»). С учетом выделенных особенностей нами предложены научно-методические подходы, определяющие сущность экономической категории «производственно-сбытовая система АПК» (табл. 1).

[1] О стратегических направлениях развития евразийской экономической интеграции до 2025 года: утв. решением Высш. Евраз. экон. совета от 11 дек. 2020 г. № 12. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F92000439 (дата обращения: 24.12.2024).

Таблица 1. **Научно-методические подходы, определяющие сущность экономической категории «производственно-сбытовая система АПК»**

Table 1. **Scientific and methodological approaches determining the essence of the economic category “production and marketing system of AIC”**

Подходы к трактовке дефиниции		Уровень (масштаб) анализа	
		Экономический субъект (организация)	АПК в целом
Область исследования	Общеэкономический простой	Совокупность функциональных областей по производству и сбыту продукции – А. А. Рябов	Совокупность сельского хозяйства, обрабатывающих (пищевых) производств и экономических субъектов, осуществляющих сбыт продукции, – Т. Т. Каскин
	Общеэкономический расширенный	Взаимосвязанная совокупность подразделений предприятия, полностью обеспечивающих процесс производства и реализации продукции, – Л. Б. Миротин, И. Н. Омельченко, А. А. Колобов, Е. Г. Мелких	Единая структура, включающая, кроме сельского хозяйства, обрабатывающих (пищевых) производств и сбытовой сферы, также поставщиков, потребителей, транспортную систему и складское хозяйство, – В. Г. Гусаков, З. М. Ильина, В. И. Бельский, В. И. Дегтяревич
	Маркетинговый	Совокупность мероприятий по продвижению товара, которые включают: планирование и реализацию рекламной кампании (прямая и косвенная реклама, разработка упаковки и т. д.); поиск клиентов и форм работы с ними; организацию деятельности агентов по реализации, – С. В. Абдуллина, В. П. Алферьев, Н. В. Киреенко	Базируется на различных его организационных формах вследствие того, что сельскохозяйственное производство и переработка характеризуются разнообразием структур и формированием многоукладной системы хозяйствования – Н. В. Киреенко
	Логистический	Элемент логистической системы, обеспечивающий интеграцию логистических потоков в процессе производства и реализации продукции, – В. И. Буць, Л. А. Таптунов	Сложная структурно организованная и управляемая совокупность взаимосвязанных элементов (организационно-экономические, технологические, финансовые), осуществляющих движение материальных, товарных, складских, транспортных и других потоков в бизнес-процессах организации, отрасли, страны, интеграционного объединения, – Н. В. Киреенко, А. Л. Косова

Примечание. Таблица составлена авторами по данным источников [13, 30–40].
Note. The table was compiled by authors based on data from sources [13, 30–40].

Исследования показали, что выделенные подходы современных исследователей к обоснованию сущности понятия ПСС несколько разнятся и одновременно являются весьма ограниченными. В развитие этого нами уточнено определение данной категории как совокупность взаимосвязанных подсистем (логистическая, производственная, маркетингово-сбытовая, информационно-цифровая), обеспечивающих эффективное взаимодействие субъектов аграрного бизнеса по управлению входящими и исходящими потоками сельскохозяйственного сырья, материалов, продукции, работ и услуг на всех этапах производственно-сбытовой цепочки (ПСЦ), в том числе за счет применения цифровых технологий. В отличие от существующих указанная трактовка учитывает: 1) интеграцию производственных и сбытовых операций в агропромышленном производстве на основе цифровой трансформации; 2) ориентацию на запросы и потребности покупателей за счет эффективного формирования и управления потоками сельскохозяйственного сырья, материалов, продукции, работ и услуг; 3) построение

ПСС в соответствии с механизмом создания добавленной стоимости продукции АПК, в том числе за счет межотраслевого взаимодействия и развития информационно-коммуникационных процессов.

С учетом новой интерпретации рассматриваемой категории разработана структурно-целевая модель формирования ПСС АПК, представляющая собой совокупность логистической → производственной → маркетингово-сбытовой → информационно-цифровой подсистем, обеспечивающих взаимодействие с внутренней и внешней средой и ориентированных на конкурентное функционирование всех участников ПСЦ (рис. 1). Научная новизна данной разработки состоит в применении комплексного подхода к совершенствованию методической базы на основе предложенной системы ключевых принципов формирования ПСС АПК, включающих принципы внутреннего построения (системные и управленческие) и внешнего взаимодействия (взаимозависимость структуры и среды, гибкость, адаптивность, законность, надежность).

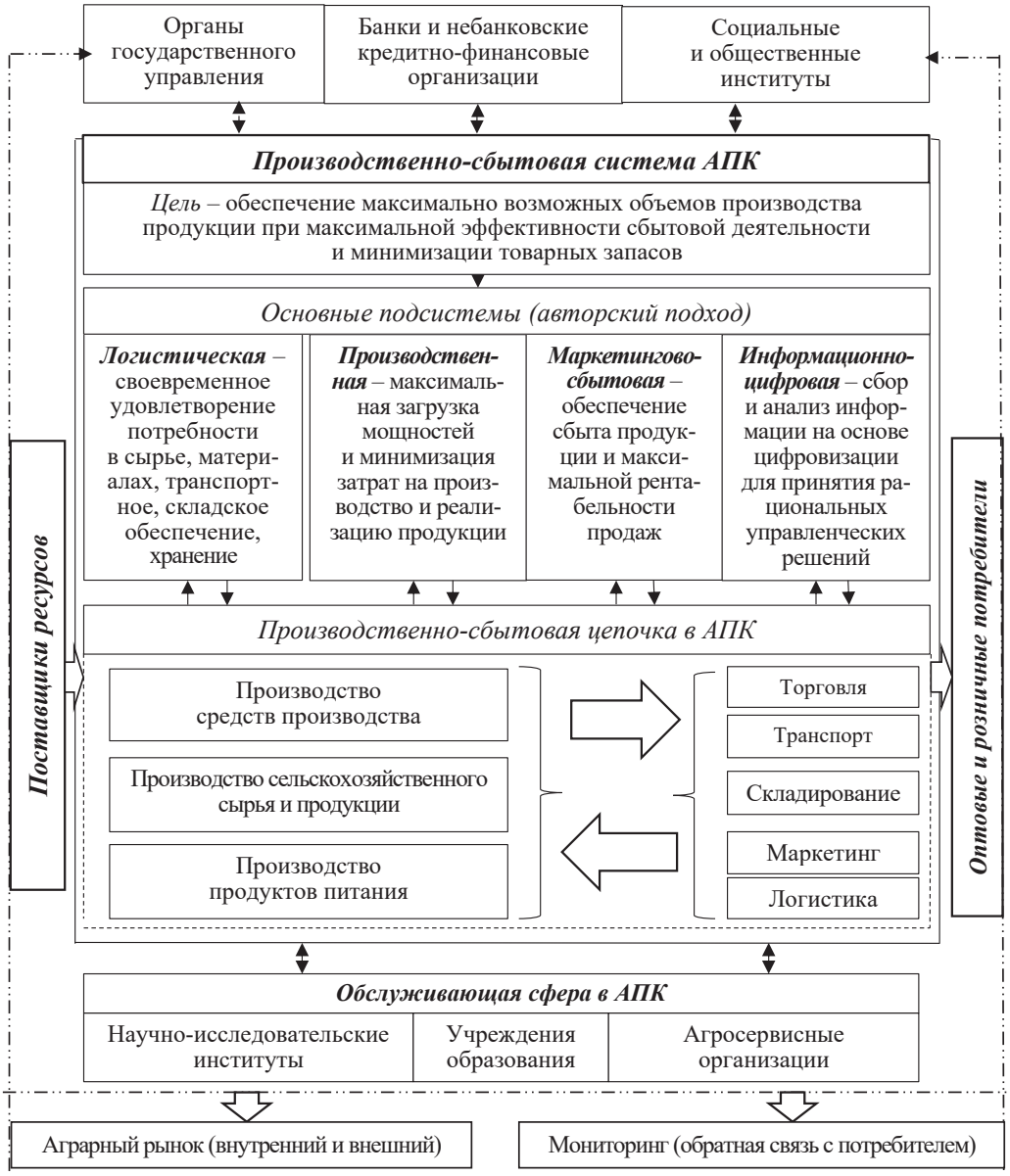


Рис. 1. Структурно-целевая модель формирования производственно-сбытовой системы АПК

Fig. 1. Structure-and-target model of formation of production and marketing system of AIC

Установлено, что современный этап развития рыночных структур базируется на принципиально новых подходах и разработках в области информационных и цифровых технологий. Их внедрение стимулирует трансформацию экономических систем и обусловливает формирование нового типа, получившего название «цифровая экономика». Впервые данный термин был введен в научный оборот в 1994 г. Д. Тапскоттом и использован в труде «The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence» [47]. Однако ученый не дал четкого определения данной категории. Непосредственно понятие «цифровая экономика» в 1995 г. определил американский ученый из Массачусетского университета Н. Негропонте, обосновав преимущества новой экономики по сравнению со старой в связи с интенсивным развитием и использованием информационно-коммуникационных технологий [48]. С течением времени и расширением областей их использования его содержание значительно изменилось, что потребовало адаптации ранее выстроенных ПСС с учетом обеспечения возможности использования широкого спектра цифровых моделей, методик и инструментов. Все это в совокупности привело к расширению научных исследований ученых, в том числе рассматривающих соответствующие трансформационные процессы в АПК.

Согласно теоретическим исследованиям различных авторов [13, 15, 17, 30, 31, 49, 50] и на основе изучения зарубежного опыта выделены специфические особенности трансформации систем и каналов сбыта аграрной продукции: а) оптово-посреднические, розничные и корпоративные системы посредством внедрения информационных и цифровых технологий имеют тенденцию к преобразованию в прямые ПСЦ; б) модели электронной коммерции формируют каналы продаж, базирующиеся на интеграционном и кластерном взаимодействии субъектов на рынке; в) цифровые каналы товародвижения основываются на виртуальных интернет-коммуникациях, охватывающих большое количество фактических и потенциальных потребителей, обеспечивая снижение трансакционных издержек. Научная новизна заключается в обосновании закономерностей развития ПСС на основе цифровизации аграрного бизнеса (стабильная потребительская способность контрагентов рынка; растущая потребительская привлекательность (ценность) товаров; постоянная заинтересованность товаропроизводителей и др.), с учетом которых обеспечиваются устойчивость и эффективное функционирование ПСЦ в сфере продовольствия.

В настоящее время выделяется ряд моделей электронной коммерции в системе управления каналами сбыта аграрной продукции, базирующихся на различных подходах к взаимодействию между субъектами ПСЦ в рамках координации усилий сельскохозяйственных и обрабатывающих (пищевых) организаций, а также централизации материального и информационного обеспечения процесса продвижения продукции на внутренний и внешний рынок. Наиболее распространенными моделями являются [51–54]: B2B (business-to-business, бизнес – бизнес); B2C (business-to-consumer, бизнес – потребитель); G2B (government-to-business, государство – бизнес); B2G (business-to-government, бизнес – государство); C2C (consumer-to-consumer, потребитель – потребитель).

Каждая из представленных моделей оказывает определенное влияние на функционирование субъектов ПСЦ через: 1) каналы реализации продукции (электронные торговые площадки (маркетплейсы)); 2) товарные биржи с применением электронных торгов; 3) электронные магазины и электронные аукционы; 4) интернет-магазин на сайте; 5) интернет-каталог и др. При этом используется комплекс преимуществ, связанных с реализацией продукции посредством каналов электронной торговли: широкий охват потенциальных потребителей на разных рынках сбыта; освоение новых рынков, в том числе внешних, с наименьшими затратами; четкий таргетинговый фильтр, предложение товара именно целевой аудитории; возможность доставки продукции из любой точки мира через логистические каналы; удобный сбор аналитической информации о потребителях; расширение аудитории – товар доступен всем потребителям; мониторинг покупательского спроса на товар в режиме онлайн; уникальная система финансовых расчетов, которая в отличие от традиционной экономики основана не на произ-

водственном потенциале, а на трансакционных возможностях ведения бизнеса в сети Интернет. Это обусловлено тем, что электронная коммерция имеет дело не с реальными товарами, а с информацией об этих товарах и связанных с ними транзакциях [55].

Исследования показывают, что, наряду с преимуществами развития электронной коммерции и использования инструментов электронной торговли при продвижения сельскохозяйственной продукции и продуктов питания на рынок, выделяются и недостатки: 1) несоответствие юридических норм и правил по исследуемому направлению между разными странами, включая вопросы налогообложения, интеллектуальной собственности или защиты персональных данных; 2) трудности при переходе с традиционной торговли на электронную форму в части организации рекламы, логистики, обратной связи с потребителями; 3) рост конкуренции, что обусловлено развитием очень быстрыми темпами электронной торговли; 4) необходимость постоянного обновления информации по предлагаемому ассортименту продукции с указанием наличия его в продаже; 5) отсутствие возможности проверить качество товара до покупки; 6) не всегда гарантирована безопасность при проведении финансовых транзакций как для продавцов, так и для потребителей продукции.

Установлено, что ПСС АПК Республики Беларусь базируется на действующей нормативно-правовой базе, характеризуется продуктовой направленностью и многоканальностью сбыта продукции на внутренний и внешний рынок. Отличительной особенностью современного развития системы является увеличение объемов производства и реализации (темп роста выручки от реализации продукции сельского хозяйства в 2021 г. составил 115,1 %; в 2022 г. – 123,1 %; 2023 г. – 108,7 %) с положительным значением рентабельности продаж (2021 г. – 6,1 %; 2022 г. – 8,8 %; 2023 г. – 6,4 %). Это позволило сохранить высокую долю продаж продовольственных товаров отечественного производства во внутреннем розничном товарообороте (2021 г. – 76,6 %; 2022 г. – 76,8; 2023 г. – 77,5 %). В то же время определен ряд проблем в ПСС АПК, среди которых: нестабильность загрузки производственных мощностей в сфере переработки; невысокий уровень использования маркетинговых и цифровых инструментов; низкая инновационная активность сельскохозяйственных организаций из-за недостатка собственных оборотных средств и наличия просроченной финансовой задолженности; дефицит субъектов оптовой торговли, включая хранилища для картофеля и овощей, и др.

С целью выявления резервов роста эффективности функционирования ПСС организации АПК нами разработана методика оценки уровня ее цифрового развития (рис. 2), представляющая собой поэтапный алгоритм действий по обоснованию комплекса оценочных показателей по двум критериям: первый – уровень цифрового развития организации АПК в целом (высокий, выше среднего, средний, ниже среднего, низкий); второй – влияние цифровизации на логистическую, производственную, маркетингово-сбытовую и информационно-цифровую подсистемы ПСС (высокое, существенное, слабое).

Выполненная апробация разработки на примере сельскохозяйственных организаций системы Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (далее – Минсельхозпрод), производящих картофель, *по первому критерию* показала, что доля субъектов в первой группе – с высоким уровнем развития цифровизации – увеличилась с 10,1 % в 2018 г. до 23,6 % в 2022 г. При этом возросло их количество во второй группе (2018 г. – 17,4 %; 2022 г. – 27,5 %) и, соответственно, произошло снижение по остальным. Полученные результаты свидетельствуют о постепенном переходе сельскохозяйственных организаций Минсельхозпрода на цифровое развитие.

При рассмотрении *второго критерия* методики можно отметить увеличение доли организаций первой группы с высоким уровнем влияния на развитие как маркетингово-сбытовой и информационно-цифровой, так и логистической и производственной подсистем (табл. 2). В то же время затраты на цифровизацию в логистической и производственной подсистемах выше, чем в маркетингово-сбытовой и информационно-цифровой. Так, если в 2018 г. в первую группу – с высоким влиянием цифровизации на логистическую подсистему ПСС –



Рис. 2. Методика оценки уровня цифрового развития производственно-сбытовой системы организации АПК

Fig. 2. Methodology for assessing the level of digital development of production and marketing system of AIC organization

входило 75 организаций, или 27,2 %, то в 2020 г. – 90, или 32,7 %, в 2022 г. – 86, или 31,0 %. При этом пятая группа практически не изменилась (2018 г. – 128 организаций, или 46,3 %; 2020 г. – 119, или 43,0 %; 2022 г. – 121 организация, или 43,9 %). По производственной подсистеме отмечается аналогичная ситуация. Как свидетельствует практика, сельскохозяйственные организации Минсельхозпрода не всегда могут изыскать финансовые ресурсы для обновления и совершенствования производственного и логистического процесса ввиду неустойчивого финансового состояния.

В то же время расходы на развитие маркетингово-сбытовой и информационно-цифровой подсистем, требующих цифровых управленческих решений, ниже, что позволяет быстрее их переориентировать с учетом новых направлений производственно-коммерческой деятельности. Расчеты показали, что если в 2018 г. количество сельскохозяйственных организаций Минсельхозпрода первой группы составляло 34 субъекта, или 12,4 %, в 2020 г. – 99, или 36,0 %,

Таблица 2. **Группировка сельскохозяйственных организаций системы Минсельхозпрода по влиянию цифровизации на подсистемы ПСС, 2018–2022 гг. (фрагмент)**

Table 2. **Grouping of agricultural organizations of the system of Ministry of Agriculture and Food by the impact of digitalization on the subsystems of production and marketing system, 2018–2022 (fragment)**

Группы организаций по коэффициенту влияния цифровизации на подсистему	№ группы	Влияние	2018 г.					2022 г.				
			Средний по группе коэффициент влияния цифровизации на развитие подсистемы	Средний по группе уровень цифрового развития	Средний критерий эффективности на уровне подсистемы	Количество организаций в группе, ед.	Удельный вес организаций, %	Средний по группе коэффициент влияния цифровизации на развитие подсистемы	Средний по группе уровень цифрового развития	Средний критерий эффективности на уровне подсистемы	Количество организаций в группе, ед.	Удельный вес организаций, %
Логистическая подсистема												
1,51 и выше	1	Высокое	3,66	1,21	183,70	75	27,2	5,04	1,49	850,35	86	31,0
1,01–1,50	2	Существенное	1,23	1,03	68,45	73	26,5	1,18	1,15	174,48	69	25,1
До 1,0	3	Слабое	0,67	0,94	–19,96	128	46,3	0,65	1,04	0,38	121	43,9
Производственная подсистема												
1,51 и выше	1	Высокое	3,87	1,25	78,77	76	27,4	4,58	1,47	120,11	86	31,2
1,01–1,50	2	Существенное	1,20	1,02	24,31	80	28,8	1,22	1,18	65,23	63	22,7
До 1,0	3	Слабое	0,66	0,93	–3,75	121	43,8	0,68	1,05	17,95	127	46,1
Маркетингово-сбытовая подсистема												
1,51 и выше	1	Высокое	6,79	0,97	3,66	34	12,4	5,49	1,20	20,37	58	20,9
1,01–1,50	2	Существенное	1,14	0,95	1,91	57	20,8	1,18	1,15	7,66	78	28,1
До 1,0	3	Слабое	0,56	1,07	1,18	184	66,8	0,73	1,23	2,23	141	51,0
Информационно-цифровая подсистема												
1,51 и выше	1	Высокое	6,66	0,98	2,43	44	16,0	13,17	1,25	14,38	165	59,8
1,01–1,50	2	Существенное	1,20	0,96	1,20	59	21,4	1,18	1,11	5,75	50	18,0
До 1,0	3	Слабое	0,53	1,07	0,96	173	62,6	0,73	1,15	0,73	61	22,2

Примечание. Таблица составлена авторами по данным годовых отчетов сельскохозяйственных организаций системы Минсельхозпрода.

Note. The table was compiled by authors based on data from annual reports of agricultural organizations of the system of Ministry of Agriculture and Food.

то в 2022 г. – 58, или 20,9 %. При этом происходило стабильное формирование второй группы с существенным влиянием цифровизации на маркетингово-сбытовую систему. Так, в 2018 г. в эту группу входило 57 организаций, или 20,8 %, в 2020 г. – 73, или 26,5 %, в 2022 г. – 78, или 28,1 %. Важным моментом стало уменьшение количества субъектов в третьей группе (2018 г. – 184 организации, или 66,8 %, 2020 г. – 104, или 37,5 %, 2022 г. – 141, или 51,0 %).

Анализируя влияние цифровизации на развитие информационно-цифровой системы ПСС, следует отметить, что за период 2018–2022 гг. наблюдалось резкое увеличение количества организаций в первой группе. Так, в 2018 г. их число составляло 44 субъекта, или 16,0 %, в 2020 г. – 68, или 24,7 %, в 2022 г. – 165, или 59,8 %. В то же время значительные затраты на внедрение элементов цифровизации в производственной и логистической подсистемах в условиях невысокой эффективности деятельности сельскохозяйственных организаций сдерживают их возможности для обновления и совершенствования производства. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости выработки научно обоснованных мероприятий и действенных мер по трансформации механизма ПСС и ее инфраструктуры в соответствии с потребно-

стями рынка, а также внедрению эффективных информационных и коммуникационных технологий на разных уровнях управления.

Цифровая экономика определяет вектор развития национальной экономики Республики Беларусь, а также необходимость поиска новых рынков сбыта товаров. В этой связи нами разработан механизм трансформации ПСС АПК как одной из стратегически значимой сферы, представляющий собой совокупность основных элементов (объекты, субъекты, условия, факторы), целей, принципов и направлений расширения экономического взаимодействия организаций, занятых производством, переработкой, хранением, реализацией продукции, в том числе за счет применения цифровых технологий (рис. 3).

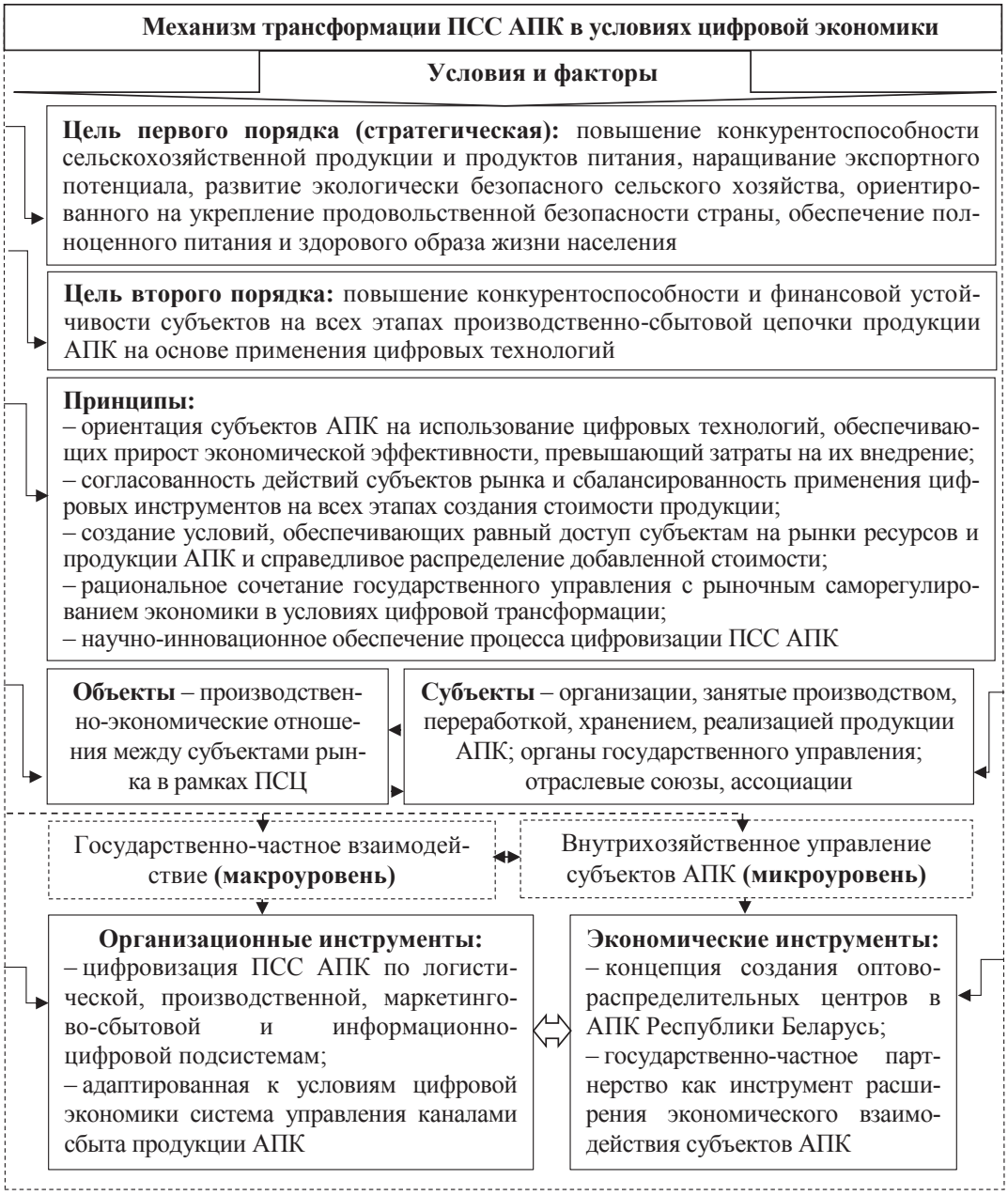


Рис. 3. Механизм трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики

Fig. 3. Mechanism of transformation of production and marketing system of AIC of the Republic of Belarus in conditions of digital economy

Новизна разработки заключается в обосновании организационных (развитие ПСС АПК на основе цифровизации, система управления каналами сбыта продукции АПК, в том числе электронными площадками) и экономических (разработка концепции создания оптово-распределительных центров (ОРЦ), формирование для них устойчивых сырьевых зон) инструментов государственно-частного (макроуровень) и внутрихозяйственного управления субъектов (микроуровень), применение которых осуществляется в тесной взаимосвязи с мерами государственного воздействия, учитывает сложившиеся и возможные условия функционирования национального АПК и направлено на обеспечение повышения конкурентоспособности и финансовой устойчивости субъектов на всех этапах ПСЦ.

Предложенный механизм предусматривает создание благоприятных условий по активному внедрению цифровых технологий в практическую деятельность различных субъектов АПК, реализация которых будет проводиться в контексте утвержденного Декрета Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики»[1]. В соответствии с авторским подходом цифровизация логистической подсистемы устанавливает необходимость автоматизации отдельных операций в цепочках поставок и применения систем ERP-класса с контуром логистики. Адаптация производственного направления предполагает применение новейших цифровых технологий в сельскохозяйственном производстве и переработке, а также в системе контроля и учета движения продукции. Развитие маркетингово-сбытовой подсистемы должно предусматривать внедрение цифровой составляющей в ключевые области сбыта, затрагивающие процессы реализации и продвижения продукции. Научная новизна основных составляющих информационно-цифровой подсистемы заключается в комплексном обосновании формирования цифровой инфраструктуры, которая должна состоять из прикладных и системных программ и сервисов, образующих интегрированное цифровое пространство и обеспечивающих возможность совершения в виртуальном пространстве в режиме реального времени всех видов торговых сделок, необходимых субъектам АПК.

Одновременно стоит обратить внимание, что адаптация национальной ПСС АПК к условиям цифровой экономики будет обусловливать возникновение для аграрных организаций ряда внутренних и внешних рисков, управление которыми должно определяться комплексом мероприятий, представленным в табл. 3.

Функционирование сбытовой подсистемы ПСС АПК обусловливает значительное расширение перечня входящих в нее субъектов хозяйствования и определяет установление доминирующего положения цифровых платформ. Сфера оптовой торговли в сравнении с базовой схемой распределения аграрной продукции дополняется ОРЦ, а розничная торговля – современными маркетплейсами. Одновременно наблюдается построение цифровых цепочек поставок, в рамках которых особую роль занимают электронные торговые площадки.

Установлено, что в условиях цифровой экономики происходит диверсификация используемых сельскохозяйственными и обрабатывающими (пищевыми) организациями каналов распределения продукции и изменение внутренних взаимосвязей между субъектами, отличающееся:

– появлением дополнительных промежуточных звеньев в виде ОРЦ, позволяющих с наименьшими рисками сформировать новые цифровые цепочки поставок за счет наличия соответствующих ресурсов и инфраструктуры;

– использованием электронных торговых и биржевых площадок для реализации продукции, которые не выступают в роли посредников, а лишь представляют площадку для организации торговли, в том числе обеспечивая применение нулевых каналов сбыта аграрной продукции производителями;

[1] О развитии цифровой экономики: Декрет Президента Респ. Беларусь от 21 дек. 2017 г. № 8. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Pd1700008 (дата обращения: 20.12.2024).

Таблица 3. **Трансформационные изменения в организации и управлении каналами сбыта аграрной продукции в условиях цифровой экономики**

Table 3. **Transformational changes in the organization and management of distribution channels for agricultural products in conditions of digital economy**

Компоненты цифровизации сбытовой подсистемы	Влияние компонента на производственно-сбытовую систему АПК	Вариант трансформационных изменений, способствующих наиболее эффективной реализации компонента
В сфере реализации продукции		
Формирование цифровых цепочек поставок	Изменение взаимосвязей между подсистемами ПСС и соответствующая трансформация системы управления	Создание специализированных структур (например, ОРЦ), позволяющих с наименьшими рисками сформировать новые цепочки поставок
Развитие цифровых платформ реализации продукции	Диверсификация каналов распределения и развитие системы управления сбытом	Включение электронных цифровых площадок и маркетплейсов в базовую схему распределения аграрной продукции, выстраивание новых потоков сырья и продукции с учетом формирования ОРЦ
Изменение моделей торговли	Формирование различных вариантов установления торгового сотрудничества с учетом развития новых каналов распределения	
Внедрение систем отслеживания продукции и контроля товарных запасов	Необходимость развития инфраструктуры ПСС АПК и формирование новых способов управления	Пересмотр взаимосвязей, выстроенных между субъектами производственной и сбытовой подсистем, с внедрением адаптационных и оптимизационных цифровых моделей
В сфере продвижения продукции на рынок		
Развитие цифровых инструментов продвижения	Использование современных организационно-экономических инструментов для продвижения аграрной продукции на внутренний и внешний рынок	Передача функций по продвижению продукции специализированным организациям или крупным игрокам, имеющим соответствующие компетенции и ресурсы. Повышение маркетинговой грамотности управленческого персонала субъектов ПСС АПК
Смена способов продвижения	Расширение каналов, методов и стратегий продвижения продукции на рынок	
Использование аналитических платформ	Развитие маркетинговой деятельности, в том числе для формирования эффективной системы маркетинговой информации	

– расширением перечня субъектов розничного рынка маркетплейсами (например, бизнес – покупатель, или B2C (взаимоотношения продавца и покупателя с помощью электронного магазина); бизнес – бизнес, или B2B), позволяющими осваивать новые рынки с наименьшими затратами, выстраивать прямые связи с конечными потребителями через меньшее количество посредников, реализовывать продукцию из любой точки мира через логистические каналы, осуществлять контроль изменения спроса и отношения потребителей к товару в режиме онлайн.

В рамках предложенного механизма важным является принятие концепции создания ОРЦ, способствующей устойчивому развитию сельскохозяйственного производства как одного из основных элементов экономической системы. Нами разработан проект данного документа, основная цель которого – определение перспективных направлений в развитии производственно-сбытовой инфраструктуры АПК Республики Беларусь, в том числе и ОРЦ, обеспечивающих ее привлекательность для субъектов экономической деятельности, а также способствующих стимулированию инновационной активности и повышению конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и продуктов питания на международном и национальном рынках. Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

– разработка моделей эффективного взаимодействия ОРЦ с объектами логистики на государственно-частной основе (идентификация, условия хранения, транспортировка и логистическая обработка, взаимодействие с сельскохозяйственными и обрабатывающими (пищевыми) организациями);

– разработка технических и технологических проектировочных решений по развитию устойчивых цепочек поставки в системе логистики, основанной на ОРЦ;

– принятие программ поддержки интенсивных форм сельского хозяйства, а также технологий хранения скоропортящейся продукции, в том числе с участием государства (например, для плодоовощной продукции, картофеля);

– построение информационной системы на основе программного комплекса, отслеживающего эффективность работы субъектов, и системы взаимоотношений организаций аграрной сферы с ОРЦ, Минсельхозпродом, торговлей и др.

В основу концепции заложены следующие приоритеты:

– формирование условий для привлечения инвестиций в развитие производственно-сбытовой инфраструктуры АПК Республики Беларусь;

– повышение конкурентоспособности аграрной экономики республики и расширение рынков национальных товаропроизводителей;

– оптимизация совокупных затрат всех участников ОРЦ;

– обеспечение равноправных условий функционирования для всех участников ОРЦ.

Финансовое обеспечение реализации концепции осуществляется за счет собственных средств субъектов АПК, средств республиканского и местных бюджетов, кредитов банков и на основе государственно-частного партнерства.

Реализация концепции предполагает:

1) развитие государственно-частного партнерства в АПК (с учетом основных положений Закона Республики Беларусь «О государственно-частном партнерстве»[1]);

2) координацию на государственном, областном и районном уровнях действий, направленных на обеспечение совершенствования ПСС АПК с государственной поддержкой;

3) разработку и реализацию мероприятий, направленных на решение основных задач, сформулированных в концепции;

4) создание ОРЦ в соответствии с предложенным положением;

5) мониторинг и оценку эффективности реализации поставленных задач.

В развитие этого нами предлагается рассматривать оптово-распределительный центр как производственно-сбытовой объект, аккумулирующий в одном месте значительный объем продукции, поставляемой сельскохозяйственными производителями, территориально граничащими друг с другом, ее качественное хранение и последующую реализацию через различные каналы на основе применения цифровых технологий. Практическая особенность разработки заключается в том, что центральным элементом ОРЦ выступает логистический центр с инновационной системой приемки, первичной переработки и хранения, который приобретает у производителей сельскохозяйственное сырье и продукцию, обеспечивая им реализацию, и одновременно выступает гарантированной базой сырьевых запасов для обрабатывающих (пищевых) производств и рынка, осуществляя оптовую торговлю.

Для обеспечения результативности ОРЦ нами предложен пошаговый алгоритм формирования для них устойчивых сырьевых зон, который предусматривает последовательное прохождение двух ключевых шагов: первый шаг – выделение перечня сельскохозяйственных организаций, имеющих высокий производственный потенциал (в разрезе видов продукции на основе оценки уровня урожайности, продуктивности и прибыльности производства); вто-

[1] О государственно-частном партнерстве: Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2015 г. № 345-З. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11500345 (дата обращения: 20.12.2024).

рой шаг – корректировка данного перечня по истечении трех лет с учетом реализации мероприятий по повышению эффективности производства.

В дополнение к этому необходимо внедрение современных информационных технологий и программных продуктов в управление сельскохозяйственного и пищевого производства. По результатам наших исследований их основу будет формировать разработка программного комплекса, обеспечивающего планирование и отслеживающего эффективность работы субъектов хозяйствования, обобщенная модель которого представлена на рис. 4. При этом входными данными выступают: результаты функционирования сельскохозяйственных и перерабатывающих организаций, а также ОРЦ; установленные критерии эффективности (критериальные значения, используемые при реализации двухшагового подхода к формированию сырьевых зон и двухуровневой системы обеспечения загрузки производственных мощностей); конъюнктура внутреннего и внешнего рынка и статистика внутренней и внешней торговли продуктами. В качестве выходных данных данного комплекса нами предложены: обоснованный состав участников; сформированная сырьевая зона и установленная рациональная величина производственных мощностей и их размещение; перечень корректирующих мер, необходимых к реализации в рамках предприятий, попавших в список потенциально эффективных.



Рис. 4. Обобщенная модель программного комплекса по обеспечению эффективного производства и реализации продукции

Fig. 4. Generalized model of a program complex for ensuring efficient production and sales

Практическая реализация программного комплекса позволит организовать эффективную работу субъектов данного вида деятельности при минимальных трудовых, временных и финансовых затратах за счет использования новейших цифровых технологий. Однако для обеспечения рациональной работы математической модели дополнительно важно предусмотреть получение необходимой статистической информации в электронном виде и организовать бесперебойное функционирование программного комплекса с ежегодной реализацией корректирующих мер. Такой подход позволит выполнить запуск программного алгоритма через обеспечение программного комплекса входными данными и поддержку технической и программной работоспособности.

В целом создание ОРЦ в совокупности с использованием предложенного пошагового алгоритма формирования устойчивых сырьевых зон и двухуровневой системы обеспечения загрузки производственных мощностей обрабатывающих (пищевых) организаций позволят сформировать ПСС АПК Республики Беларусь, в рамках которой будет обеспечена эффективность функционирования всех субъектов в процессе создания конечной стоимости продукции. При этом важно обеспечить развитие отдельных рыночных институтов, а также инфраструктуры рынка. Целесообразно расширение сбыта сельскохозяйственной продукции и продовольствия за счет их включения в состав продуктов, возможных к реализации в границах электронных торговых площадок, в том числе с участием иностранных покупателей, а также создание специализированных торговых домов и бирж.

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Изучение теоретических и методических основ формирования ПСС АПК в условиях цифровой экономики позволило определить сущность, закономерности и принципы ее развития, обосновать особенности организации и управления каналами сбыта аграрной продукции на современном этапе. Научная новизна исследований заключается в уточнении понятия «производственно-сбытовая система АПК» на основе интеграции логистической, производственной, маркетингово-сбытовой, информационно-цифровой подсистем, а также разработке структурно-целевой модели формирования ПСС АПК, обеспечивающей взаимодействие всех участников ПСЦ, практическое использование которых позволяет комплексно определить результативность и выявить внутренние резервы роста деятельности организации, в том числе за счет цифровизации.

2. Разработана методика оценки уровня цифрового развития ПСС организации АПК, включающая показатели, которые характеризуют уровень цифрового развития субъекта (высокий, выше среднего, средний, ниже среднего, низкий) и влияние цифровизации на логистическую, производственную, маркетингово-сбытовую и информационно-цифровую подсистемы ПСС (высокое, существенное, слабое) в кратко-, средне- и долгосрочном периоде. Научная новизна предлагаемой разработки состоит в использовании поэтапного алгоритма, позволяющего выявить резервы совершенствования системы производства и сбыта продукции на микроуровне. Апробация методики на примере сельскохозяйственных организаций Минсельхозпрода, выращивающих картофель, показала, что за 2018–2022 гг. отмечается увеличение доли субъектов с высоким уровнем цифрового развития (2018 г. – 10,1 %; 2020 г. – 12,7 %; 2022 г. – 23,6 %). Кроме того, наблюдается увеличение доли организаций с высокой степенью влияния цифровизации на развитие логистической, производственной, маркетингово-сбытовой и информационно-цифровой подсистем (2018 г. – 27,2; 27,4; 12,4; 16,0 %; 2020 г. – 32,7; 33,1; 36,0; 24,7 %; 2022 г. – 31,0; 31,2; 20,9; 59,8 % соответственно). В то же время полученные результаты показали, что затраты на цифровизацию в логистической и производственной подсистемах выше, чем в маркетингово-сбытовой и информационно-цифровой. Две последние быстрее приспосабливаются к новым условиям, и эффективность их функционирования в значительной степени зависит от цифровизации.

3. Разработан механизм трансформации ПСС АПК в условиях цифровой экономики, представляющий собой совокупность целей, принципов, организационных и экономических направлений расширения взаимодействия организаций, занятых производством, переработкой, хранением, реализацией продукции, в том числе за счет применения цифровых инструментов. В рамках концепции создания ОРЦ в АПК Республики Беларусь разработан пошаговый алгоритм формирования устойчивых сырьевых зон и двухуровневой системы обеспечения загрузки обрабатывающих (пищевых) организаций, что позволяет эффективно функционировать всем субъектам ПСЦ. Практическая значимость механизма состоит в том, что его использование способствует формированию новых цепочек поставок, развитию цифровых и аналитических платформ, изменению моделей торговли, а научная новизна заклю-

чается в трансформации внутренних взаимосвязей между субъектами ПСС АПК и диверсификации каналов распределения продукции за счет электронных торговых площадок, ОРЦ, маркетплейсов.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы, подпрограмма 9.7 «Экономика АПК».

Acknowledgments. The research has been carried out within the framework of the State Scientific Research Program "Agricultural Technologies and Food Security" for 2021–2025, Subprogram 9.7 "Economics of the Agro-Industrial Complex".

Список использованных источников

1. Marx, K. Capital: a critique of political economy / K. Marx. – Chicago: C. H. Kerr & Company, 1906. – 547 p.

2. Энгельс, Ф. Развитие социализма от утопии к науке / Ф. Энгельс; пер. с нем. – М.: Молодая Гвардия, 1937. – 109 с.

3. Менгер, К. Избранные работы / К. Менгер. – М.: Территория будущего, 2005. – 495 с.

4. Австрийская школа в политической экономии: К. Менгер, Е. Бем-Баверк, Ф. Визер: пер. с нем. / сост. В. С. Автономов. – М.: Экономика, 1992. – 493 с.

5. Маршалл, А. Принципы экономической науки: в 3 т. / А. Маршалл; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1993. – Т. 1. – 415 с.

6. Вальрас, Л. Элементы чистой политической экономии или Теория общественного богатства / Л. Вальрас; пер. с фр. – М.: Изограф, 2000. – 448 с.

7. Mitchell, W. C. Business cycles: the problem and its setting / W. C. Mitchell. – New York: Nat. Bureau of Economic Research, 1927. – 489 p.

8. Веблен, Т. Теория праздного класса: пер. с англ. / Т. Веблен. – М.: Прогресс, 1984. – 367 с.

9. Coase, R. H. The firm, the market and the law / R. H. Coase. – Chicago: Univ. of Chicago Press, 1988. – 218 p.

10. Акулич, И. Л. Маркетинг / И. Л. Акулич. – 8-е изд., перераб. и доп. – Минск: Выш. шк., 2014. – 543 с.

11. Бауэрсокс, Д. Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок / Д. Дж. Бауэрсокс, Д. Дж. Клосс; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2005. – 639 с.

12. Догиль, Л. Ф. Совершенствование механизма интеграции бизнеса в процессы экономического и социокультурного развития регионов / Л. Ф. Догиль // Экономика, моделирование, прогнозирование: сб. науч. тр. / Науч.-исслед. экон. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – Вып. 10. – С. 48–55.

13. Киреенко, Н. В. Система сбыта продукции АПК на основе маркетингового подхода: теория, методология, практика: в 2 ч. / Н. В. Киреенко; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2015. – Ч. 1. – 265 с.; Ч. 2. – 173 с.

14. Кристофер, М. Логистика и управление цепочками поставок: как сократить затраты и улучшить обслуживание потребителей: пер. с англ. / М. Кристофер. – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.

15. Пакуш, Л. В. Формирование логистической системы в свеклосахарном подкомплексе в Республике Беларусь / Л. В. Пакуш, Е. В. Кокиц. – Горки: БГСХА, 2019. – 217 с.

16. Резников, С. Н. Глобальные цепи поставок и эмпирические предпосылки современного развития теории глобальной логистики / С. Н. Резников // Экономические науки. – 2014. – № 5 (114). – С. 134–139.

17. Фетюхина, О. Н. Концепция и маркетинг глобальной цепи поставок продукции / О. Н. Фетюхина // Экономический вестник Ростовского университета. – 2007. – Т. 5, № 3, ч. 3. – С. 306–312.

18. Larson, P. Supply chain management: definition growth and approaches / P. Larson, D. Rogers // Journal of Marketing Theory and Practice. – 1998. – Vol. 6, № 4. – P. 1–5. https://doi.org/10.1080/10696679.1998.11501805

19. Иванов, Д. А. Логистика. Стратегическая кооперация / Д. А. Иванов. – М.: Вершина, 2006. – 174 с.

20. Левкин, Г. Г. Логистика в АПК / Г. Г. Левкин. – 2-е изд. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 245 с.

21. Cohen, S. Strategic Supply Chain Management: the five disciplines for top performance / S. Cohen, J. Roussel. – New York: McGraw, 2005. – 316 p.

22. Cooper, M. Characteristics of supply chain management and the implication for purchasing and logistics strategy / M. Cooper, L. Ellram // International Journal of Logistics Management. – 1993. – Vol. 4, № 2. – P. 13–24. https://doi.org/10.1108/09574099310804957

23. Defining supply chain management / J. T. Mentzer, W. DeWitt, J. S. Keebler [et al.] // Journal of Business Logistics. – 2001. – Vol. 22, № 2. – P. 1–25. https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x

24. Oliver, K. Supply chain management: logistics catches up with strategy / K. Oliver, M. Webber // Logistics: the strategic issues / ed. M. Christopher. – London, 1982. – P. 63–75. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27922-5_15

25. Гусаков, В. Г. Факторы и методы эффективного хозяйствования / В. Г. Гусаков. – Минск: Беларус. навука, 2020. – 54 с.

26. Ефименко, А. Г. Теоретико-методологические аспекты развития инфраструктуры АПК / А. Г. Ефименко, Г. М. Гриценко // Проблемы экономики: сб. науч. тр. – 2020. – Вып. 1 (30). – С. 71–77.

27. Ali, A. Analysing supply chain resilience: integrating the constructs in a concept mapping framework via a systematic literature review / A. Ali, A. Mahfouz, A. Arisha // Supply Change Management: An International Journal. – 2017. – Vol. 22, № 1. – P. 16–39. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2016-0197

28. Cappelli, A. Will the COVID-19 pandemic make us reconsider the relevance of short food supply chains and local productions / A. Cappelli, E. Cini // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol. 99. – P. 566–567. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.041

29. Liu, F. Building supply chain resilience through virtual stockpile pooling / F. Liu, S. F. Song, F. D. Tong // Production and Operations Management. – 2016. – Vol. 25, № 10. – P. 1745–1762. https://doi.org/10.1111/poms.12573

30. Совершенствование системы сбыта в агропродовольственной сфере. Теория, методология, практика / В. Г. Гусаков, З. М. Ильина, В. И. Бельский [и др.]. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2010. – 251 с.

31. Буць, В. И. Логистическое обоснование параметров производственно-сбытовой системы сельскохозяйственной организации: рекомендации / В. И. Буць, Л. А. Таптунов. – Горки: БГСХА, 2021. – 36 с.

32. Рябов, А. А. Организация деятельности клиентоориентированных производственно-сбытовых систем на промышленном предприятии: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 05.00.22 / Рябов Андрей Анатольевич; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2006. – 18 с.

33. Каскин, Т. Т. Совершенствование производственно-сбытовой системы АПК региона: на материалах АПК Западно-Казахстанской области Республики Казахстан: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Каскин Тлеген Тулегенович; Сиб. науч.-исслед. ин-т экономики сел. хоз-ва. – Новосибирск, 2015. – 24 с.

34. Мелких, Е. Г. Логистикоориентированная производственно-сбытовая система предприятия / Е. Г. Мелких // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталев, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2006. – Т. 2. – С. 124–126.

35. Дегтяревич, В. И. Производственно-сбытовая система зернового рынка / В. И. Дегтяревич // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси: межведомств. темат. сб. / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси. – Минск, 2010. – Вып. 38. – С. 85–91.

36. Миротин, Л. Б. Инженерная логистика: логистически-ориентированное управление жизненным циклом продукции / Л. Б. Миротин, И. Н. Омельченко, А. А. Колобов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 644 с.

37. Абдуллина, С. В. Роль и значение посредничества в современном обществе / С. В. Абдуллина // Маркетинг в России и за рубежом. – 2008. – № 1 (63). – С. 54–58.

38. Алферьев, В. Маркетинговые методы обеспечения сельского хозяйства ресурсами / В. Алферьев // АПК: экономика, управление. – 2006. – № 4. – С. 15–17.

39. Косова, А. Л. Механизм совершенствования логистической системы в АПК Беларуси в условиях региональной торгово-экономической интеграции / А. Л. Косова; под науч. ред. Н. В. Киреенко. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2022. – 179 с.

40. Таптунов, Л. А. Обоснование организационно-экономической сущности производственно-сбытовой системы сельскохозяйственной организации как объекта логистического исследования / Л. А. Таптунов // Проблемы экономики: сб. науч. тр. – 2019. – № 1 (28). – С. 239–251.

41. Shepherd, A. Including small-scale farmers in profitable value chains / A. Shepherd. – Netherlands: CTA Publ., 2016. – 60 p.

42. Innovation and inclusive value-chain development: a review / A. Devaux, M. Torero, J. Donovan, D. Horton // Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 99–123. https://doi.org/10.1108/jadee-06-2017-0065

43. Miller, C. Agricultural value chain finance: tools and lessons / C. Miller, L. Jones. – Warwickshire: Practical Action Publ.; Rome: FAO, 2010. – 176 p. https://doi.org/10.3362/9781780440514

44. McMichael, P. Value-chain agriculture and debt relations: contradictory outcomes / P. McMichael // Third World Quarterly. – 2013. – Vol. 34, № 4. – P. 671–690. https://doi.org/10.1080/01436597.2013.786290

45. Trienekens, J. H. Agricultural value chains in developing countries a framework for analysis / J. H. Trienekens // International Food and Agribusiness Management Review. – 2011. – Vol. 14, № 2. – P. 51–82.

46. Multi-objective expansion analysis for sustainable agro-industrial value chains based on profit, carbon and water footprint / J. P. Rajakala, K. S. D. Ng, R. R. Tan [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 288. – Art. 125117. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125117

47. Tapscott, D. The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence / D. Tapscott. – New York: McGraw-Hill, 1996. – 342 p.

48. Бухтиярова, Т. И. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития / Т. И. Бухтиярова // Бизнес и общество. – 2019. – № 1 (21). – URL: https://busines-society.ru/publ/2019_god/1_21/cifrovaja_ehkonomika_osobennosti_i_tendencii_razvitija/36-1-0-395 (дата обращения: 21.11.2024).

49. Быков, Г. Е. Роль и место сельскохозяйственных сбытовых кооперативов / Г. Е. Быков, В. Г. Быков // Аграрная Россия. – 2006. – № 5. – С. 2–5.

50. Совершенствование механизма эффективного функционирования региональных агроэкономических систем / А. Н. Герасимов, Е. И. Громов, А. В. Мурдугов, О. И. Шаталова. – М.: Колос; Ставрополь: Сервисшкола, 2012. – 171 с.

51. Бельский, В. И. Полноформатная цифровизация / В. И. Бельский // Экономика Беларуси: итоги, тенденции, прогнозы. – 2018. – № 1. – С. 16–23.

52. Новикова, Ю. Ю. Цифровизация как организационно-экономическая основа инновационного развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь / Ю. Ю. Новикова // Актуальные проблемы инновацион-

ного развития агропромышленного комплекса Беларуси: сб. науч. тр. по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., Горки, 4–5 февр. 2021 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол. И. В. Шафранская (отв. ред.) [и др.]. – Горки, 2021. – Ч. 2. – С. 64–69.

53. Балич, Н. Л. Цифровизация сельского хозяйства в системе модернизации агропромышленного комплекса Беларуси / Н. Л. Балич // Глобальные вызовы и региональное развитие в зеркале социологических измерений: материалы V междунар. науч.-практ. интернет-конф., г. Вологда, 23–27 марта 2020 г.: в 2 ч. / Вологод. науч. центр РАН; редкол.: А. А. Шабунова [и др.]. – Вологда, 2020. – Ч. 2. – С. 18–22.

54. Жукова, М. А. Формирование механизма цифровой трансформации сельского хозяйства: автореф. дис. … канд. экон. наук: 08.00.05 / Жукова Марина Александровна; Воронеж. гос. аграр. ун-т. – Воронеж, 2021. – 24 с.

55. Борель, К. В. Стратегия развития on-line торговли аграрной продукцией в Республике Беларусь / К. В. Борель // Агропанорама. – 2023. – № 5 (147). – С. 33–38.

References

1. Marx K. *Capital: a critique of political economy*. Chicago, C.H. Kerr & Company, 1906. 547 p.

2. Engels F. *Die Entwicklung des Sozialismus von der Utopie zur Wissenschaft.* Frankfurt am Main, V. Klostermann, 1891. 72 p. (in German).

3. Menger K. *Selected works*. Moscow, Territoriya budushchego Publ., 2005. 495 p. (in Russian).

4. *The Austrian school in political economy: Menger K., Böhm-Bawerk E. M., Wieser F.* Moscow, Ekonomika Publ., 1992. 493 p. (in Russian).

5. Marshall A. *Principles of economics. Vol. 1*. London, The Macmillan Press, 1890. 754 p.

6. Walras L. *Elements of pure political economy: or theory of social wealth*. Homewood, R. D. Irwin, 1954. 620 p.

7. Mitchell W. C. *Business cycles: the problem and its setting.* New York, National Bureau of Economic Research, 1927. 489 p.

8. Veblen T. *The theory of the leisure class*. New York, Penguin Books, 1979. 400 p.

9. Coase R. H. *The firm, the market and the law*. Chicago, University of Chicago Press, 1988. 218 p.

10. Akulich I. L. *Marketing*. 8th ed. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 2014. 543 p. (in Russian).

11. Bowersox D. J., Closs D. J. *Logistical management: the integrated supply chain process*. New York, McGraw-Hill Companies, 1996. 730 p.

12. Dogil L. F. Improving the mechanism of business integration in the processes of economic and sociocultural development of the regions. *Ekonomika, modelirovanie, prognozirovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Economics, modelling, forecasting: collection of scientific works]. Minsk, 2016, iss. 10, pp. 48–55 (in Russian).

13. Kireyenka N. V. *The system of sales of AIC products on the basis of marketing approach: theory, methodology, practice: in 2 parts*. Minsk, Institute of System Researches in Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2015. 2 parts (in Russian).

14. Christopher M. *Logistics and supply chain management: strategies for reducing cost and improving service*. 2nd ed. London, Financial Times Prentice Hall, 1998. 304 p.

15. Pakush L. V., Kokits E. V. *Formation of a logistics system in the sugar beet subcomplex in the Republic of Belarus*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2019. 217 p. (in Russian).

16. Reznikov S. N. Global supply chains and empirical background modern development of the theory of global logistics. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*, 2014, no. 5 (114), pp. 134–139 (in Russian).

17. Fetyukhina O. N. The concept and marketing of a global product supply chain. *Ekonomicheskii vestnik Rostovskogo universiteta = Economic Herald of Rostov State University*, 2007, vol. 5, no. 3, pt. 3, pp. 306–312 (in Russian).

18. Larson P., Rogers D. Supply chain management: definition growth and approaches. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 1998, vol. 6, no. 4, pp. 1–5. https://doi.org/10.1080/10696679.1998.11501805

19. Ivanov D. A. *Logistics. Strategic cooperatio*n. Moscow, Vershina Publ., 2006. 174 p. (in Russian).

20. Levkin G. G. *Logistics in the agro-industrial complex*. Moscow, Direct-Media Publ., 2014. 245 p. (in Russian).

21. Cohen S., Roussel J. *Strategic supply chain management: the five disciplines for top performanc*e. New York, McGraw, 2005. 316 p.

22. Cooper M., Ellram L. Characteristics of supply chain management and the implication for purchasing and logistics strategy. *International Journal of Logistics Managemen*t, 1993, vol. 4, no. 2, pp. 13–24. https://doi.org/10.1108/09574099310804957

23. Mentzer J. T., DeWitt W., Keebler J. S., Min S., Nix N. W., Smith C. D., Zacharia Z. G. Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 2001, vol. 22, no. 2, pp. 1–25. https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x

24. Oliver K., Webber M. Supply chain management: logistics catches up with strategy. *Logistics: the strategic issues*. London, 1982, pp. 63–75. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27922-5_15

25. Gusakov V. G. *Factors and methods of effective management*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 54 p. (in Russian).

26. Gritsenko G. M., Efimenko A. G. Theoretical-methodological aspects of development of agro-industrial complex infrastructure. *Problemy ekonomiki: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Economics: collection of scientific works], 2020, iss. 1 (30), pp. 71–78 (in Russian).

27. Ali A., Mahfouz A., Arisha A. Analysing supply chain resilience: integrating the constructs in a concept mapping framework via a systematic literature review. *Supply Change Management: An International Journal*, 2017, vol. 22, no. 1, pp. 16–39. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2016-0197

28. Cappelli A., Cini E. Will the COVID-19 pandemic make us reconsider the relevance of short food supply chains and local productions. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 99, pp. 566–567. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.041

29. Liu F., Song S. F., Tong F. D. Building supply chain resilience through virtual stockpile pooling. *Production and Operations Management*, 2016, vol. 25, no. 10, pp. 1745–1762. https://doi.org/10.1111/poms.12573

30. Gusakov V. G., Il'ina Z. M., Bel'skii V. I., Baigot L. N., Baigot M. S., Batova N. N. [et al.]. *Improvement of the sales system in the agro-food sector. Theory, methodology, practice.* Minsk, Institute of System Researches in Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2010. 251 p. (in Russian).

31. Buts' V. I., Taptunov L. A. *Logistic substantiation of parameters of the production and sales system of an agricultural organisation: recommendations*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2021. 36 p. (in Russian).

32. Ryabov A. A. *Organisation of the activity of customer-oriented production and sales systems at an industrial enterprise.* St. Petersburg, 2006. 18 p. (in Russian).

33. Kaskin T. T. *Improvement of production and marketing system of agro-industrial complex of the region: based on the materials of agro-industrial complex of West Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan*. Novosibirsk, 2015. 24 p. (in Russian).

34. Melkikh E. G. Logistics-oriented production and sales system of an enterprise. *Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike: materialy Chetvertoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Science to education, production, economics: proceedings of the 4th International scientific and technical conference]. Minsk, 2006, vol. 2, pp. 124–126 (in Russian).

35. Degtyarevich V. I. Production and sales system of the grain market. *Ekonomicheskie voprosy razvitiya sel'skogo khozyaistva Belarusi: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik = Economic issues of agricultural development of Belarus: cross sectoral subject collection*. Minsk, 2010, iss. 38, pp. 85–91 (in Russian).

36. Mirotin L. B., Omel'chenko I. N., Kolobov A. A. *Engineering logistics: logistics-oriented product lifecycle management*. Moscow, Goryachaya Liniya-Telecom Publ., 2013. 644 p. (in Russian).

37. Abdullina S. V. Role and importance of intermediaries in the contemporary society. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and Abroad], 2008, no. 1 (63), pp. 54–58 (in Russian).

38. Alferyev V. Marketing methods of providing resources to agriculture. *APK: ekonomika, upravlenie = AIC: Economics, Management*, 2006, no. 4, pp. 15–17 (in Russian).

39. Kosova A. L. *Mechanism of improving the logistics system in the agro-industrial complex of Belarus in the conditions of regional trade and economic integration.* Minsk, Institute of System Researches in Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2022. 179 p. (in Russian).

40. Taptunov L. A. Rationale for organizational and economic essence production and sales system of agricultural organizations as a subject of logistics research. *Problemy ekonomiki: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Economics: collection of scientific works], 2019, no. 1 (28), pp. 239–251 (in Russian).

41. Shepherd A. *Including small-scale farmers in profitable value chains*. The Netherlands, CTA Publishing, 2016. 60 p.

42. Devaux A., Torero M., Donovan J., Horton D. Agricultural innovation and inclusive value-chain development: a review. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 99–123. https://doi.org/10.1108/jadee-06-2017-0065

43. Miller C., Jones L. *Agricultural value chain finance: tools and lessons*. Warwickshire, Practical Action Publishing; Rome, FAO, 2010. 195 p. https://doi.org/10.3362/9781780440514

44. McMichael P. Value-chain agriculture and debt relations: contradictory outcome. *Third World Quarterly*, 2013, vol. 34, no. 4, pp. 671–690. https://doi.org/10.1080/01436597.2013.786290

45. Trienekens J. H. Agricultural value chains in developing countries a framework for analysis. *International Food and Agribusiness Management Review*, 2011, vol. 14, no. 2, pp. 51–82.

46. Rajakala J. P., Ng D. K. S., Tan R. R., Andiappan V., Wan Y. K. Multi-objective expansion analysis for sustainable agro-industrial value chains based on profit, carbon and water footprint. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 288, art. 125117. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125117

47. Tapscott D. *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. New York, McGraw-Hill, 1996. 342 p.

48. Bukhtiyarova T. I. Digital economy: features and development trends. *Biznes i obshchestvo* [Business and Society], 2019, no. 1 (21). Available at: https://busines-society.ru/publ/2019_god/1_21/cifrovaja_ehkonomika_osobennosti_i_tendencii_razvitija/36-1-0-395 (accessed 21.11.2024) (in Russian).

49. Bykov G. E., Bykov V. G. The role and place of agricultural marketing cooperatives. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2006, no. 5, pp. 2–5 (in Russian).

50. Gerasimov A. N., Gromov E. I., Murdugov A. B., Shatalova O. I. *Improving the mechanism for the effective functioning of regional agro-economic systems*. Moscow, Kolos Publ.; Stavropol, Servisshkola Publ., 2012. 171 p. (in Russian).

51. Bel'skii V. I. Full-format digitalization. *Ekonomika Belarusi: itogi, tendentsii, prognozy* [Economy of Belarus: Results, Trends, Forecasts], 2018, no. 1, pp. 16–23 (in Russian).

52. Novikova Yu. Yu. Digitalization as an organizational and economic basis of innovative development of the agro-industrial complex of the Republic of Belarus. *Aktual'nye problemy innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Belarusi: sbornik nauchnykh trudov po materialam XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Gorki, 4–5 fevralya 2021 g.* [Actual problems of innovative development of the agro-industrial complex of Belarus: collection of scientific papers based on the proceedings of the XIII International scientific and practical conference, Gorki, February 4–5, 2021]. Gorki, 2021, pt. 2, pp. 64–69 (in Russian).

53. Balich N. L. Digitalization of agriculture in system of modernization of agro-industrial complex of Belarus. *Global'nye vyzovy i regional'noe razvitie v zerkale sotsiologicheskikh izmerenii: materialy V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii, g. Vologda, 23–27 marta 2020 g.* [Global challenges and regional development in the mirror of sociological measurements: proceedings of the 5th International, scientific and practical Internet conference, Vologda, March 23–27, 2020]. Vologda, 2020, pt. 2, pp. 18–22 (in Russian).

54. Zhukova M. A. *Formation of the mechanism of digital transformation of agriculture.* Voronezh, 2021. 24 p. (in Russian).

55. Borel' K. V. Strategy of development of on-line trade in agrarian products in the Republic of Belarus. *Agropanorama*, 2023, no. 5 (147), pp. 33–38 (in Russian).

Информация об авторах

Киреенко Наталья Владимировна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационного развития АПК, Институт повышения квалификации и переподготовки кадров АПК УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: natallia_kireenko@mail.ru

Борель Константин Викторович – кандидат экономических наук, ассистент кафедры организации производства в АПК, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Могилевская обл., Республика Беларусь). E-mail: k.borel@mail.ru

Information about the authors

Natallia V. Kireyenka – Dr. Sc. (Economics), Professor, Head of the Department of Innovative Development of the Agro-Industrial Complex, Institute for Advanced Training and Retraining of Agricultural Personnel of the Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University" (99, Nezavisimosti Ave., 220023, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natallia_kireenko@mail.ru

Konstantin V. Borel – Ph. D. (Economics), Assistant Professor at the Department of Industrial Management in the Agro-Industrial Complex, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurin St., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: k.borel@mail.ru

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 633.14«324»:631.526.325:631.527.52(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-115-123

Поступила в редакцию 25.02.2025
Received 25.02.2025

Э. П. Урбан, С. И. Гордей

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, Жодино, Республика Беларусь

СОСТОЯНИЕ СЕЛЕКЦИИ, ОСОБЕННОСТИ СЕМЕНОВОДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГИБРИДОВ F_1 ОЗИМОЙ РЖИ (*SECALE CEREALE* L.)

Аннотация. В настоящее время идет активное внедрение в сельскохозяйственное производство Республики Беларусь гибридов первого поколения (F_1) озимой ржи. За последние семь лет доля гибридов F_1 ржи увеличилась с 1 до 12 % от всей посевной площади этой культуры. За счет эффекта гетерозиса в первом поколении гибриды могут на 15–20 % превосходить по урожайности популяционные сорта. Вместе с тем необходимо учитывать, что такое превышение возможно обеспечить только при строгом соблюдении всех элементов технологии возделывания. Изложено состояние селекции гибридов F_1 озимой ржи в Беларуси, основные требования эффективного их выращивания в условиях сельскохозяйственных предприятий Беларуси. Представлены способы размножения родительских компонентов и получения семян линейно-популяционных гибридов F_1. Показаны риски и потери урожайности при выращивании гибридов озимой ржи в поколении F_2. Использовать резерв повышения урожайности за счет эффекта гетерозиса у гибридов F_1 в условиях Беларуси особенно важно в Гродненской, Брестской, Минской областях, где имеются весомые экономические и экологические предпосылки для возделывания гибридов F_1 озимой ржи. Рекомендуемая площадь посева гибридов F_1 в Беларуси с учетом сложившейся структуры посевных площадей, а также почвенно-климатических условий должна составлять 10–12 % от общей площади посева озимой ржи.

Ключевые слова: селекция, озимая рожь, сорт, образец, генотип, гетерозис, гибрид F_1, урожайность, качество, адаптивность, зимостойкость, короткостебельность, гомеостаз

Для цитирования: Урбан, Э. П. Состояние селекции, особенности семеноводства и технологии возделывания гибридов F_1 озимой ржи (*Secale cereale* L.) / Э. П. Урбан, С. И. Гордей // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 115–123. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-115-123

Eroma P. Urban, Stanislau I. Hardzei

Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus

STATE OF BREEDING, FEATURES OF SEED PRODUCTION AND CULTIVATION TECHNOLOGY OF F_1 WINTER RYE HYBRIDS (*SECALE CEREALE* L.)

Abstract. At present, there is an active introduction of F_1 winter rye hybrids into agricultural production in the Republic of Belarus. Over the past seven years, the share of F_1 rye hybrids has increased from 1 to 12 % of the total sown area of this crop. Due to the effect of heterosis in the first generation, hybrids can be 15–20 % higher in yield than population varieties. At the same time, it must be taken into account that such an excess can only be achieved with strict adherence to all elements of cultivation technology. The paper describes the state of breeding of F_1 winter rye hybrids in Belarus, and the basic requirements for their effective cultivation in the conditions of agricultural enterprises in Belarus. Methods of parental components multiplication and obtaining seeds of linear-population F_1 hybrids are presented. The risks and yield losses when growing winter rye hybrids in the F_2 generation are shown. Using the reserve for increasing productivity due to the effect of heterosis in F_1 hybrids in the conditions of Belarus is especially important in the Grodno, Brest, and Minsk regions, where there are significant economic and environmental prerequisites for cultivating of F_1 winter rye hybrids. The recommended sowing area for F_1 hybrids in Belarus, taking into account both the current structure of sown areas and soil and climatic conditions, should be about 10–12 % of the total area of winter rye.

© Урбан Э. П., Гордей С. И., 2025

Keywords: breeding, winter rye, variety, sample, genotype, heterosis, F_1 hybrid, productivity, quality, adaptability, winter hardiness, short stemness, homeostasis

For citation: Urban E. P., Hardzei S. I. State of breeding, features of seed production and cultivation technology of F_1 winter rye hybrids (*Secale cereale* L.) // *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 2, pp. 115–123 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-115-123

Введение. В связи с растущим уровнем интенсификации сельскохозяйственного производства ставится задача по созданию сортов и гибридов озимой ржи, которые имели бы высокую и стабильную продуктивность и генетическую защиту от неблагоприятных условий внешней среды. На основании современных требований нами разработана стратегия селекции озимой ржи. В селекционных исследованиях предусматривается скрининг мирового генофонда, выделение источников и создание доноров селекционно-ценных признаков, использование методов экспериментальной полиплоидии, гибридизации, целенаправленное формирование сложных гибридных популяций, выведение гетерозисных гибридов F_1 на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Программой исследований предусматривается создание новых сортов с более широким спектром адаптивности, повышенной устойчивостью к наиболее опасным болезням, вредителям, полеганию, абиотическим стрессам. Только в этом случае потенциальную продуктивность созданных сортов и гибридов удается реализовать более полно [1].

В системе адаптивной селекции методы создания гетерозисных гибридов заслуживают особого внимания. Гибриды первого поколения (F_1) в силу своей гетерозиготности имеют, как правило, более высокий экологический гомеостаз, что ведет к стабильности урожая. Получение селекционно-ценных инцухт-линий и системы ЦМС на основе разнообразного материала дает возможность более эффективно использовать генетический потенциал сортовых популяций, создает предпосылки для повышения урожайности озимой ржи на 10–15 % и генетической защиты ее от воздействия неблагоприятных условий среды. Окупаемость затрат по гетерозисной селекции идет не только за счет прибавки урожая от эффекта гетерозиса, но и в результате увеличения отзывчивости гибридов (по сравнению с популяционными сортами) на различные приемы возделывания, создаваемые агротехникой [2].

В последние годы в Беларуси произошло значительное обновление сортимента озимой ржи, создан ряд высокопродуктивных сортов и гибридов с укороченным стеблем, зимостойких, с повышенной устойчивостью к полеганию и прорастанию зерна на корню. В Государственный реестр сортов Республики Беларусь (далее – государственный реестр) на 2025 г. включено 48 сортов и гибридов F_1 ржи, из них 18 отечественных популяционных сортов и 4 гибрида F_1, а также 3 популяционных сорта и 23 гибрида F_1 иностранной селекции [3].

В процессе государственного сортоиспытания в условиях Беларуси получена урожайность гибридов F_1 на уровне 80–100 ц/га и выше [4].

Гибридная рожь в настоящее время приобретает все большую популярность, особенно в европейских странах, например в Германии, Дании. В Германии в последние годы гибриды занимают около 60 % всех посевов ржи, а средняя урожайность их составляет 52,0 ц/га. В Польше при общей площади посева ржи в 1,2 млн га гибридная рожь высевается на площади только 180–200 тыс. га (15–17 %).

В Беларуси гибридная рожь в 2024 г. высеяна на площади около 30 тыс. га. Популяционные сорта диплоидной и тетраплоидной ржи белорусской селекции занимают около 88 % посевных площадей, отводимых под эту культуру в нашей стране.

Несмотря на то что новые популяционные сорта ржи отличаются относительно высоким потенциалом урожайности (70–75 ц/га), устойчивостью к полеганию, в меньшей степени поражаются грибными болезнями, все же следует признать, что многие проблемы, касающиеся короткостебельности, устойчивости к полеганию, озерненности колоса, скороспелости, улучшения хлебопекарных и кормовых качеств, пока решены не полностью. Относительно

медленный прогресс в селекции сортов популяций озимой ржи объясняется в основном использованием традиционных методов массового, индивидуального и семейного отборов, при которых отбираемый генотип контролируется только по материнской линии, а отцовский остается неизвестным.

По оценкам немецких исследователей, в странах Евросоюза стоимость гибридных семян на 50–100 % выше стоимости семян обычных популяционных сортов. Для покрытия издержек урожайность гибридов озимой ржи должна быть выше по отношению к популяционным сортам не менее чем на 5–8 ц/га [5].

Материалы и методы исследования. В Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию разработаны, адаптированы к почвенно-климатическим условиям Беларуси методы создания родительских компонентов гибридов F_1 ржи с использованием источников ЦМС, самофертильности из популяций разного экологического происхождения. Отработаны методики размножения материнских, отцовских компонентов и получения гибридных семян озимой ржи, которые включают следующие питомники.

Питомник поддержания материнских мужских стерильных компонентов (МС-компонентов). Основные задачи питомника: поддержание МС-форм в чистом виде; самоопыление закрепителей стерильности (ЗС); выявление и удаление фертильных растений среди МС-аналогов.

Посев в питомнике проводится селекционной кассетной сеялкой или вручную двухстрочным способом: один ряд – МС-форма, следующий ряд – закрепитель стерильности. Расстояние между рядами – 30 см, в ряду между растениями – 10–15 см. Разреженный посев способствует повышению продуктивной кустистости растений, а также позволяет своевременно выявить и удалить фертильные генотипы среди МС-аналогов, подобрать наиболее продуктивное растение для парных скрещиваний.

В питомнике проводятся парные скрещивания мужских стерильных аналогов с закрепителями стерильности по отдельным растениям: одно растение МС-аналога и одно растение закрепителя стерильности. Для обеспечения достаточного количества семян изолируются 2 000–2 500 пар растений, но не менее 1 000.

Питомники размножения МС-компонентов. Первый и второй циклы размножения проводятся на изолированных участках широкополосным методом селекционной сеялкой поделяночно в соотношении 3 : 1 (на три делянки материнской формы высевается одна отцовская). Основной вид работ при размножении МС-компонента – выявление и удаление до цветения фертильных растений.

Размножение МС-компонентов в третьем цикле проводится в бóльших объемах по сравнению с предыдущими циклами. Посев осуществляется широкополосным способом по схеме 25–30 м (МС-аналог) и 3,0–3,5 м (ЗС). Направление посева производится с учетом розы ветров.

Получение гибридных семян проводится методом посева смеси семян, состоящей из 90 % материнского МС-компонента и 10 % отцовского компонента (популяционный сорт – восстановитель фертильности). Посев проводится узкорядным способом с нормой высева 2–3 млн всхожих семян на 1 га (70–110 кг/га).

Результаты и их обсуждение. В результате совместной работы с селекционной фирмой «КВС Лохов» (Германия) в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию созданы первые экспериментальные линейно-популяционные гибриды F_1 озимой диплоидной ржи ЛоБел 103 и Галинка, которые в конкурсном сортоиспытании по урожайности превысили стандарт на 8,0–14,4 ц/га. С 2011 г. в государственный реестр сортов нашей страны включен первый белорусский гибрид F_1 ржи Плиса, а с 2022 г. – белорусский гибрид F_1 Белги.

В отличие от популяционных сортов ржи у гибрида Белги F_1 более высокий уровень урожайности достигается за счет использования эффекта гетерозиса в первом поколении. Высота растений – 1,20–1,25 м. Характеризуется высокой устойчивостью к полеганию (8–9 баллов), зимостойкостью (85–95 %). Масса 1 000 зерен составляет 35,7–37,9 г, натура зерна – 640–695 г/л, «число падения» – 245–270 с. Гибрид F_1 озимой ржи Белги может возделываться для хлебопекарных и кормовых целей, а также в качестве монокорма для животных в зеленом конвейере.

Линейно-популяционные гибриды F_1 озимой ржи характеризуются короткостебельностью, устойчивостью к полеганию, повышенной озерненностью колоса, формируют более плотный стеблестой к моменту уборки, что обеспечивает повышение урожайности [6]. Однако создание высокогетерозисных гибридов озимой ржи еще недостаточно для внедрения их в производство. В значительной мере это зависит от стоимости семян гибридов F_1.

Гибриды F_1 являются продуктом скрещивания генетически отдаленных родительских инбредных линий, благодаря чему возникает гибридная сила, которая называется гетерозис, создаются предпосылки для повышения урожайности озимой ржи на 15–20 % и более, генетической защиты ее от воздействия неблагоприятных условий среды [7]. Однако в последующих поколениях (F_2, F_3 и т. д.) из-за расщепления эффект гетерозиса теряется и, как следствие, снижается урожайность и устойчивость к неблагоприятным факторам среды и болезням [8].

Стоит 1 т семян гибридов F_1 немецкой селекции в пределах 1 500–1 600 евро (5,0–5,3 тыс. руб.), в то время как стоимость оригинальных семян питомников размножения популяционных сортов озимой ржи белорусской селекции (Офелия, Голубка, Улисса, Жалейка, Камея 16, Росана и др.) составляет 1,1 тыс. руб. Это более чем в 4 раза дешевле, а стоимость элитных семян популяционных сортов в 6 и более раз меньше. При этом указанные сорта можно возделывать в производстве 4–5 лет, а гибриды F_1 – только 1 год.

Многолетние исследования, проведенные с гибридами F_1 озимой ржи в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию, показали, что наиболее оптимальная норма высева гибридов для почвенно-климатической зоны Беларуси составляет 2,0–3,0 млн штук всхожих семян на 1 га (70–110 кг/га, в зависимости от массы 1 000 семян). Так как стоимость семенного материала гибридов ржи немецкой селекции составляет около 50–60 евро за одну посевную единицу (1 посевная единица равна 1,0 млн шт. всхожих семян), то для покрытия разницы стоимости семян необходимо получить прибавку урожая не менее 10 ц/га при уровне урожайности не ниже 50 ц/га.

Семеноводство гибридов ржи включает ряд питомников, требующих строгой пространственной изоляции (не менее 1 500 м) не только между другими посевами ржи, но и между питомниками семеноводства.

Расчеты показывают, что практическая реализация указанной схемы позволяет на пятый год довести посевные площади семенных участков гибридной ржи до 200–250 га, что обеспечит получение гибридных семян в количестве 1,1–1,5 тыс. т для посева на площади 6 000 га (табл. 1).

Таблица 1. **Схема получения семян линейно-популяционных гибридов F_1 озимой ржи в питомниках семеноводства**

Table 1. **Scheme for obtaining seeds of linear-population F_1 winter rye hybrids in seed nurseries**

Год	Наименование питомника	Число пар скрещивания, тыс. пар	Площадь, га	Урожайность семян	Валовой сбор семян, кг	Страховой фонд, кг	Использование для посева, кг	Норма высева, кг/га
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию								
Первый	Питомник поддержания материнских МС-компонентов	2,0–2,5	–	3,5–5,0 г/раст	7,0	3,5	3,5	80–100
Второй	Размножение МС-компонентов (1-й цикл)	–	0,035	35–40 ц/га	122,0	61,0	61,0	70–100
Третий	Размножение МС-компонентов (2-й цикл)	–	0,61	35–40 ц/га	220,0	110,0	110,0	70–100

Окончание табл. 1

Год	Наименование питомника	Число пар скрещивания, тыс. пар	Площадь, га	Урожайность семян	Валовой сбор семян, кг	Страховой фонд, кг	Использование для посева, кг	Норма высева, кг/га
Четвертый	Размножение МС-компонентов (3-й цикл)	–	11,3	35–40 ц/га	40 000,0	4 000,0	36 000,0	70–110
Опытные станции, элитхозы								
Пятый	Получение гибридных семян (♀ 90 : ♂ 10)	–	240	45–50 ц/га	1 100 000,0	100 000,0	1 100 000	70–110
Сельскохозяйственные предприятия								
Шестой	Производственный посев гибридов	–	6 000	60–70 ц/га	36 000 000,0	Реализация		

В Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию разработаны основные элементы технологии возделывания гибридов F_1 для экологических условий Республики Беларусь.

В первую очередь следует отметить, что гибриды F_1 ржи более требовательны к почвенному плодородию по сравнению с популяционными сортами, их не следует выращивать на бедных песчаных почвах [9–11]. Кроме того, для реализации потенциала урожайности гибридов F_1 ржи необходимо строго соблюдать все элементы технологии возделывания, особенно что касается применения удобрений и средств защиты.

Фосфорные и калийные удобрения вносятся под основную обработку почвы в дозах согласно технологическому регламенту [12].

В табл. 2 приведен рекомендуемый регламент применения азотных удобрений и средств защиты в весенне-летний период на уровень урожайности не менее 70 ц/га для дерново-подзолистых, дерново-карбонатных супесчаных и суглинистых почв на морене со следующими агрохимическими параметрами: pH – 5,5–6,0; содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и обменного калия – от 150 мг/кг почвы. Рекомендуемые сроки сева – 15.09–05.10, норма высева – 70–110 кг/га (2–3 посевные единицы).

Таблица 2. **Основные элементы технологии возделывания гибридов F_1 озимой ржи**

Table 2. **The main elements of F_1 winter rye hybrids cultivating technology**

Элементы технологии	Фаза развития	Доза внесения
Удобрения	(25) – кущение (весной)	70–80 кг/га д. в. N
	(32) – начало выхода в трубку	30–40 кг/га д. в. N
	(37) – появление флагового листа	30–40 кг/га д. в. N
Гербициды	(13) – 3 листа	В соответствии с Государственным реестром средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь
	(25) – кущение	
Регуляторы роста	(25) – середина кущения	
	(32) – середина выхода в трубку	
	(37) – появление флагового листа	
Фунгициды	(32) – середина выхода в трубку	
	(51) – начало колошения	
Инсектициды	(13) – 3 листа	
	(55) – колошение	
Дополнительно микроэлементы	(25) – кущение	
	(34) – стадия 4-го узла	

Производство зерна гибридной ржи в настоящее время не сдерживают биологические и экономические проблемы. Трудности ее внедрения в производство носят чисто организационный характер.

Целесообразность выращивания гибридной ржи F_2. В научной литературе имеется ряд публикаций о нецелесообразности использования семян для пересева гибридов F_1 различных культур (в том числе и ржи) на поколение F_2. В Польше исследователями Лапинским и Стояловским [13] выявлено, что снижение урожайности при использовании F_2 гибрида ржи наблюдалось в пределах 14 %.

В хозяйстве ООО «Яворское» (Харьковская обл.) на высокоплодородных почвах – черноземах урожайность F_1 гибридной ржи Пикассо селекции «КВС Лохов» составила 60, а F_2 – 35 ц/га, то есть на 25 ц/га, или на 41,7 %, ниже по сравнению с F_1.

В течение 2010–2012 гг. компания «КВС Лохов» провела более 20 опытов по испытанию гибрида Палаццо. Снижение урожайности составило от 12 до 32 %, в зависимости от места и года проведения исследований. В основном наблюдалось падение урожайности на 18–20 %.

В Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию в течение 2006–2008 гг. проводились исследования по пересеву гибрида белорусской селекции ЛоБел 103 на репродукцию F_2. Установлено, что урожайность в среднем за три года исследований составила: в поколении F_1 – 73,4 ц/га, в поколении F_2 – 58,8 ц/га, то есть на 14,6 ц/га ниже.

В 2018 г. в производственном опыте ОАО «Александрийское» Шкловского района на площади 52 га испытывались отечественный популяционный сорт озимой ржи Голубка и гибрид F_1 иностранной селекции КВС Боно (Германия). Снижение фактической урожайности гибрида F_1 КВС Боно при посеве семян F_2 составило 10,3 ц/га по причине снижения продуктивной кустистости, озерненности колоса, резкого увеличения поражения спорыньей из-за нехватки пыльцы во время цветения [7, 14, 15].

В 2024 г. на опытном поле Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию был заложен опыт по пересеву гибрида F_1 Белги на поколение F_2. К моменту цветения в поколении F_2 наблюдалось сильное расщепление по высоте растений с разницей до 50 см (рисунок) и выщепление в больших количествах мужских стерильных растений, что привело к череззернице и снижению урожайности.



Состояние посева гибрида F_2 Белги на 31.05.2024 г.

State of the plot of F_2 hybrid Belgi on 31.05.2024

Как видно из результатов исследований, во всех случаях, независимо от места испытания и года, урожайность гибридов F_2 была ниже по сравнению с F_1. Так, в благоприятные годы

Таблица 1. **Встречаемость фитофагов в агроценозах ячменя озимого в разных агроклиматических зонах страны (по данным маршрутных обследований, опытное поле РУП «Институт защиты растений», 2023–2024 гг.)**

Table 1. **Occurrence of phytophags in winter barley agrocenoses in different agroclimatic zones of the country (according to route surveys, experimental field of the RUE "Institute of Plant Protection", 2023–2024)**

Фитофаг	Климатические зоны		
	Северная	Центральная	Южная, Новая
Долерус полевой (*Dolerus puncticollis* Thoms.)	++	++	++
Долерус ржаной (*Dolerus niger* L.)	++	++	++
Муха озимая (*Delia coarctata* Fallen)	–	(+)	–
Муха шведская ячменная (*Oscinella pusilla* Mg.)	++	+++	++
Обыкновенный хлебный пилильщик (*Cephus pygmaeus* L.)	+	+	+
Пьявица красногрудая (*Oulema melanopus* L.)	+++	+++	+++
Ржаной стеблевой пилильщик (*Trachelus troglodyta* Fabr.)	+	++	+
Селандрия злаковая (*Selandria serva* F.)	+	+	+
Совка озимая (*Agrotis segetum* Schiff.)	–	–	+
Тля большая злаковая (*Sitobion avenae* F.)	+	++	+
Тля черемуховая (*Rhopalosiphum padi* L.)	+	+	+
Трипс ржаной (*Limothrips denticornis* Hal.)	++	++	+
Хлебный жук-красун (*Chaetopteroplia segetum* Herbst)	–	–	+
Цикадка шеститочечная (*Macrosteles laevis* R.)	++	++	++
Cerodontha (Poemyza) pygmaea (Mg.)	+	+	+
Черепашка маврская (*Eurygaster maura* L.)	+	+	+++
Щелкун посевной полосатый (*Agriotes lineatus* L.)	++	++	++
Элия остроголовая (*Aelia acuminata* L.)	(+)	++	+++

Примечание. +++ – массово (более 10 %); ++ – обычен в посевах (от 1 до 10 %); + – редко (менее 1 %); (+) – единичные особи.

Note. +++ – widespread (over 10 %); ++ – common in crops (1 to 10 %); + – rare (under 1 %); (+) – single species.

дни декады среднесуточная температура воздуха составила +17,2 °С, в дневные часы доходила до +24,8 °С), осадки отсутствовали. Климатические условия первой половины II декады месяца характеризовались теплой (среднесуточная температура воздуха +16,4 °С) и сухой (0 мм осадков) погодой. Во второй половине декады температура воздуха в дневные часы доходила до +30,6 °С, осадки практически отсутствовали (20.06 выпало 0,2 мм, или 0,7 % декадной нормы).

В I декаде сентября 2023 г. отмечены высокие показатели температуры воздуха (+15,2 °С, что на 1,7 °С выше среднемноголетних значений) и полное отсутствие осадков. Погодные условия II декады месяца характеризовались повышенным температурным режимом (среднесуточная температура воздуха составила +15,7 °С (на 3,9 °С выше среднемноголетних значений)) и хорошей влагообеспеченностью (23,9 мм, или 132,8 % нормы). В III декаде снова установилась теплая и сухая погода (выпало 5,8 мм дождя, или 36,3 % нормы). В I и II декадах октября показатели среднесуточной температуры воздуха и осадков колебались на уровне среднемноголетних значений, однако отмечено колебание температур от –1 °С ночью и до +22 °С днем. В III декаде октября количество осадков в 3 раза превышало норму (47,9 мм, или 319,3 % нормы) при среднесуточной температуре воздуха +5,7 °С (выше среднемноголетних значений на 2,2 °С).

В начале I декады апреля 2024 г. наблюдалось похолодание, среднесуточная температура воздуха составила +10,4 °С, в ночное время до –1,8 °С, II декада месяца характеризовалась изменчивой погодой (в начале декады среднесуточная температура воздуха составила +9,6 °С, во второй половине – +5,8 °С), количество осадков было на уровне нормы. В начале III декады месяца похолодание продолжилось (в дневные часы температура воздуха составила

+5,0…+9,4 °С) на фоне часто выпадающих осадков (39,2 мм). Однако со второй половины декады наблюдалось потепление (среднесуточная температура воздуха была +12,5 °С), осадки прекратились. Среднесуточная температура воздуха в I декаде мая составила +11,8 °С (выше нормы на 0,9 ºС), осадки были ниже нормы (8,0 мм, или 47,1 % нормы), во II декаде месяца температура воздуха в дневные часы поднималась до +24,9 °С, осадки отсутствовали. Дневная температура воздуха в третьей половине месяца находилась в основном в пределах +24,3...+29,8 ºС на фоне почти полного отсутствия дождя.

В I декаде июня 2024 г. среднесуточная температура воздуха составила +17,1 °С, что на 2,0 °С выше среднемноголетних значений, ливневый дождь отмечен 05.06 и 10.06 (выпало 21,4 мм, или 89,2 % нормы). Погодные условия II декады июня (высокие среднесуточные температуры воздуха – +18,4…+20,6 °С – на фоне низкого количества осадков, ливневые дожди прошли 19.06–20.06).

Погодные условия в сентябре 2024 г. характеризовались повышенным температурным режимом (среднесуточная температура воздуха составила +14,8…+18,7 °С, что выше среднемноголетних значений на 5,1–6,4 °С) и низкой увлажненностью (18,5 мм, или 33,0 % нормы). В I и II декадах октября температура воздуха превышала среднемноголетние значения на 2,1 и 0,2 °С, осадки выпадали равномерно и составили 22,2 и 24,1 мм, или 158,6 и 172,1 % нормы. Погодные условия в III декаде месяца характеризовались высокими показателями температуры воздуха (+8,2 °С, что на 4,7 °С выше среднемноголетних значений) и почти полным отсутствием осадков (0,4 мм, или 2,7 % нормы).

В период вегетации темпы развития растений зависят от среднесуточной температуры и количества осадков, что влияет на продолжительность фенологических стадий у насекомых и дает возможность определить сопряженность развития насекомого с уязвимыми к повреждению фазами кормового растения.

При плотности проволочников 20,8 ос/м^2 почвы на опытном поле РУП «Институт защиты растений» средняя поврежденность растений составила 17,1 % (осень 2022 г.). Возрастной состав щелкунов в посевах культуры следующий: проволочники 2-го года жизни (23,5 %), 3-го (58,8 %) и 4-го (17,7 %) года жизни. Результаты почвенных раскопок показали, что на опытном поле (д. Атолино) перед посевом ячменя озимого осенью 2023 г. численность личинок (проволочников) щелкунов в среднем составила 20,9 ос/м^2 почвы, осенью 2024 г. – 16,2 ос/м^2 почвы. В возрастной структуре популяции щелкунов доминировали как личинки 3-го (62,5 %), так и 2-го года жизни (53,7 %).

При оценке поврежденности различных сортов ячменя озимого личинками вредителей выявлено, что в зависимости от их возрастной структуры при пороговой численности проволочников растения были повреждены от 9,2 % (Буслик) до 22,5 % (Титус) (рис. 2).

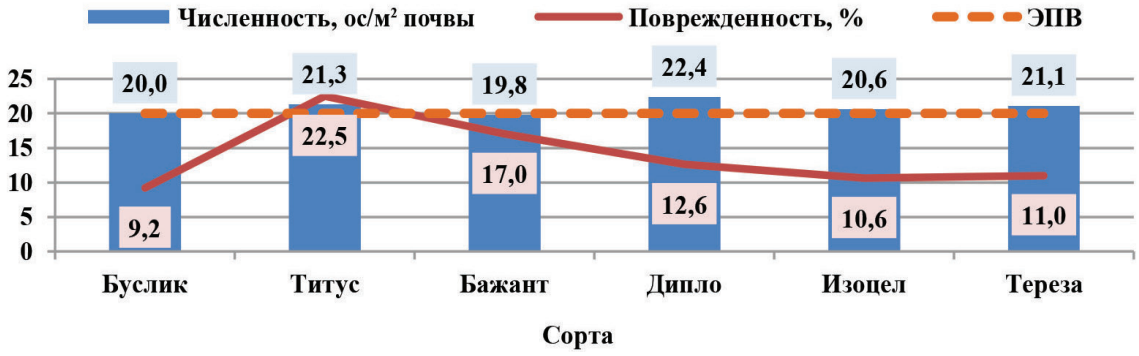


Рис. 2. Плотность личинок жуков-щелкунов и поврежденность ими различных сортов ячменя озимого (полевой опыт, опытное поле РУП «Институт защиты растений», осень 2023 г.)

Fig. 2. Density of click beetle larvae and damage to various winter barley varieties (field experiment, experimental field of the RUE “Institute of Plant Protection”, autumn 2023)

По результатам маршрутных обследований производственных посевов во всех агроклиматических зонах установлено, что в период прорастания – развития листьев из почвообитающих фитофагов доминировал щелкун посевной полосатый (*Agriotes lineatus* L.) с численностью в почве 20,6–21,3 ос/м^2, поврежденность растений достигала 13,7–14,8 %.

В начальный период развития растений (осень 2023 г.) в условиях опытного поля в посевах ячменя озимого из злаковых мух доминировали шведские мухи осеннего (третьего) поколения: ячменная (*Oscinella pusilla* Mg.) – 83,6 % и овсяная (*O. frit* L.) – 16,4 %. На отдельных сортах (Тереза, Дипло, Изоцел) в стадии 2 листьев (ДК 12) выкашивалось 15,0–19,0 ос/100 взмахов сачком, что ниже ЭПВ (25,0–30,0 ос/100 взмахов сачком). Поврежденность растений вредителями составила 4,2–6,2 %. На сортах Буслик и Бажант плотность имаго превышала пороговое значение (30,0–41,0 ос/единица учета) с поврежденностью стеблей 12,0–18,3 %.

На желтую клеевую ловушку за 4 дня отловлено 44 особи. В начале апреля 2024 г. (01.04) в посеве сорта Изоцел отмечены первые особи злаковых мух (среднесуточная температура воздуха составила +15,7 ºС, осадки отсутствовали) – 5,0 ос/100 взмахов сачком. В связи с аномально высокой среднесуточной температурой воздуха во II декаде апреля (+10,6 ºС – выше среднемноголетних значений на 8,6 ºС, в дневные часы в начале и конце декады воздух прогревался до +26,8 и +25,5 ºС соответственно) в конце кущения (12.04) отмечен массовый вылет имаго данных мух и на сортах учитывалось: Буслик – 283,0 ос/100 взмахов сачком, Дипло – 88,0, Бажант – 734,0, Изоцел – 94,0, Тереза – 25,0 ос/100 взмахов сачком. По результатам мониторинга посевов культуры в Брестской области в начале II декады апреля установлено, что в период 1–2 узлов на сорте Изоцел на 100 взмахов сачком выкашивалось 25,0–73,0 особи шведских мух.

Благоприятные погодные условия (температура воздуха превышала среднемноголетние значения) сложились и для массового размножения шведских мух в осенний период 2024 г. Так, при оптимальном сроке сева (20.09) на различных сортах ячменя озимого (Буслик, КВС Тенор, Титус, Тереза, Изоцел, ЗУ Миднайт, Дипло) в стадии 2 листьев выкашивалось от 22,0 до 60,0 ос/100 взмахов сачком. В стадии полного кущения поврежденность стеблей составила 12,6–15,8 % на сортах Тереза, ЗУ Миднайт и КВС Тенор, 19,3–21,6 % на сортах Буслик, Титус и 24,2 % на сорте Дипло.

Из листогрызущих вредителей в фазе колошения культуры на экономически ощутимом уровне вред наносила пьявица красногрудая (*Oulema melanopus* L.). В 2023 г. при проведении учета численности листогрызущих вредителей в стадии 2-го узла культуры (ДК 32) выкашивалось до 86 ос/100 взмахов сачком пьявицы красногрудой с доминированием 97,4 %. В стадии лигулы (01.06, ДК 39) отмечена интенсивная яйцекладка фитофага – 0,64 шт/стебель, а также отрождение личинок: I возраста – 76,4 % от общего количества личинок всех возрастов, II – 19,6 %, III возраста – 4,0 %.

В начале колошения (ДК 51) численность личинок пьявиц увеличилась до 0,62 ос/стебель, в возрастной структуре преобладали личинки I и II возраста (48,4 и 38,7 %), через 3 дня (09.06.2023) доминировали личинки II (41,3 %) и I (33,3 %), через 7 (13.06) – III (46,4 %) и II (28,9 %), через 14 (20.06) – IV возраста (70,6 %). При высоких температурах воздуха в этот период отмечен быстрый переход личинок из одного возраста в другой. В контрольном варианте степень повреждения листьев ячменя озимого составила до 37,0 % с интенсивностью повреждения флагового листа личинками пьявиц в период их массового развития до 3 баллов по 5-балльной шкале.

Учеты, проведенные на опытных делянках ячменя озимого, показали, что в вегетационном сезоне 2024 г. в посевах сортов выявлено имаго пьявиц: Буслик – 60,0 ос/100 взмахов сачком, Дипло – 74,0, Бажант – 58,0, Изоцел – 67,0, Тереза – 45,0 ос/единица учета. Интенсивная яйцекладка фитофага отмечена с 15 мая в стадии флагового листа (ДК 39) ячменя озимого – 1,40 шт/стебель, а в III декаде мая (фаза культуры – колошение) – отрождение личинок –

0,12–0,29 ос/стебель, в фазе колошения наименьшая их численность была на сорте Тереза – 0,2 ос/стебель, наибольшая на сорте Бажант – 0,41 ос/единица учета. В конце цветения (ДК 69) (04.06) отмечена максимальная плотность личинок – 0,40–0,64 ос/стебель (рис. 3).

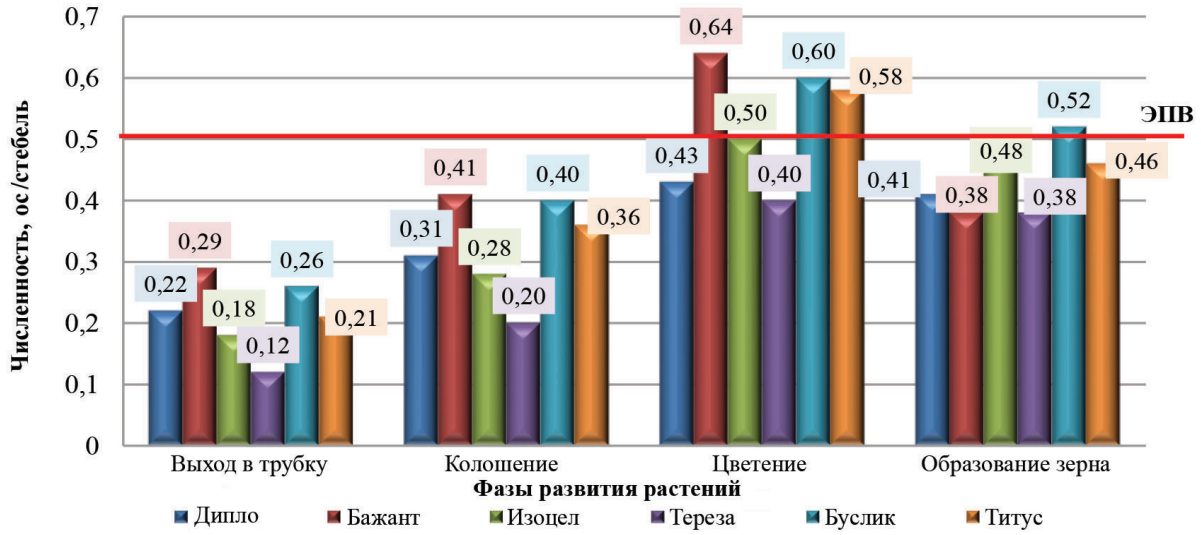


Рис. 3. Динамика численности личинок пьявицы в период вегетации ячменя озимого (полевой опыт, опытное поле РУП «Институт защиты растений», 2024 г.)

Fig. 3. Dynamics of number of barley leaf beetle larvae during the vegetation period of winter barley (field experiment, experimental field of the RUE “Institute of Plant Protection”, 2024)

Оценка возрастной структуры пьявицы на сорте Титус показала, что в этот период присутствовали личинки всех возрастов – личинки I и II возраста составили по 47,2 %, III и IV возраста соответственно по 3,0 и 2,6 %. Через трое суток (07.06) доминировали личинки II (50,8 %) и III (27,4 %) возраста, I и IV – 16,0 и 5,8 %. На 7-е сутки при визуальном учете личинок пьявиц (11.06) отмечено, что преобладают личинки III и IV возраста – 82,1 и 17,9 %. Через 10 суток (14.06) основными личинками в агроценозе были личинки IV возраста (92,3 %). В фазе образования зерен (ДК 75) (18.06.2024 г.) на 14-е сутки отмечены личинки IV возраста (100 %) с численностью 0,46 ос/стебель. До 23,2 % было повреждено листовой пластинки флагового листа культуры, что составило 2 балла по 5-балльной шкале. В стадии начало образования зерна (II декада июня) на растениях учитывались личинки пьявиц – 0,52 ос/стебель на сорте Буслик, 0,48 – на сорте Изоцел, 0,46 – на сорте Титус, 0,41 – на сорте Дипло, 0,38 ос/стебель – на сортах Бажант и Тереза (рис. 3) (поврежденность флагового листа в среднем 12,3 %). Таким образом, установлено, что наибольшая плотность личинок пьявиц выявлена в посеве сорта Бажант.

Отмечаются более сильные повреждения пьявицами сортов ячменя озимого, чем других озимых культур, в связи с отсутствием опушения на поверхности листьев культуры.

Результаты маршрутных обследований посевов показали, что численность личинок пьявиц в разных агроклиматических зонах страны варьировала от 0,24 до 0,82 ос/стебель в 2023 г. и от 0,1 (Новая и Северная) до 0,7 ос/стебель (Южная и Центральная) в 2024 г.

В последнее время в агроценозах культуры в период ДК 30–59 листовые (настоящие) пилильщики представлены такими видами, как долерус полевой (*Dolerus puncticollis* Thoms.) (34,3 %), ржаной (*D. niger* L.) (13,7 %) и селандрия злаковая (*Selandria serva* F.) (10,8 %) с численностью ложногусениц 0,31 (2023 г.) и 0,32 (2024 г.) ос/стебель (ЭПВ 0,3 ос/стебель).

При проведении учетов в 2023 г. отмечено массовое развитие в опытных посевах ячменя озимого тли, учитывались большая злаковая (*Macrosiphum avenae* F.) (84,2 %), обыкновенная

(*Schizaphis graminum* Rondani) (6,5 %) и розанно-злаковая (*Metopolophium dirhodum* Walk.) (9,3 %). Наблюдения за динамикой популяции злаковых тлей показали, что нарастание численности проходило до конца колошения (ДК 59), когда отмечено максимальное количество вредителя – 6,2 ос/стебель (ЭПВ 3,5 ос/стебель, ДК 51–59). В период цветения (ДК 65–69) наблюдался спад численности тли (3,8 ос/стебель), что связано с жаркой и сухой погодой, а также с активной деятельностью энтомофагов. В условиях вегетационного сезона на опытных делянках отмечено активное питание имаго и личинок кокцинеллид (Coccinellidae) с численностью 0,08–0,24 ос/стебель, личинок сирфид (Syrphidae) и златоглазки (Chrysopidae) – 0,10 ос/стебель, паразитических насекомых (Ichneumonidae и Braconidae) – 17–32 ос/100 взмахов сачком.

В условиях 2024 г. численность злаковых тлей (большая злаковая (*M. avenae* F.) и черемуховая (*Rhopalosiphum padi* L.)) была на низком уровне – 0,4–2,5 ос/стебель, также фиксируется появление в незначительных количествах элии остроголовой (*Aelia acuminata* L.) и элии носатой (*A. rostrata* Boh.), черепашки маврской (*Eurygaster maura* L.), хлебного клопика (*Trigonotylus caelestialium* K.), слепняка странствующего стройного (*Notostira elongate* G.).

В течение всего срока вегетации (2023–2024 гг.) в посевах присутствуют цикадки – полосатая (*Psammotettix striatus* L.), шеститочечная (*Macrosteles laevis* R.) и темная (*Calligypona striatella* Fall.). Доминирующим видом среди цикадок в посевах ячменя на территории Беларуси является *Macrosteles laevis* R., на который приходится 88,2–89,7 %. Численность цикадок в кошениях составила в осенний период 2023 г. на опытном поле 980,0–1200,0 ос/100 взмахов сачком, в весенне-летний период – 6,0–111,0 особи. Осенью 2024 г. в посевах под урожай 2025 г. на начальных фазах развития ячменя озимого численность цикадок была низкой и составила 262,0 ос/100 взмахов сачком. Максимальная зафиксированная численность стеблевых пилильщиков (*Trachelus troglodyta* Fabr., *Cephus pygmaeus* L.) наблюдалась в 2024 г., на сортах ячменя озимого Изоцел и Тереза на желтую клеевую ловушку отловлено 2,0 и 4,0 особи соответственно, в 2023 г. – по одному экземпляру. Выкашивалось до 12,0 имаго/100 взмахов сачком в период колошения культуры. По данным С. В. Бойко (2024), в условиях опытного поля численность шведских мух летнего (второго) поколения была высокой и составила в посевах ячменя озимого: на сорте Буслик – 1 200,0 ос/100 взмахов сачком, Бажант – 980,0, Тереза – 1 800,0, Изоцел – 2 100,0 ос/единица учета. Поврежденность зерен культуры была незначительной – 0,3–4,0 %. В 2023 г. также отмечалась высокая плотность вредителя на сортах КВС Тенор и Титус – 1 250,0–1 360,0 ос/100 взмахов сачком, повреждено 1,6–4,2 % зерен культуры.

В Гомельской области (Южная агроклиматическая зона) в агроценозах культуры перезимовавшее поколение клопов в стадии конец колошения ячменя озимого представлено семействами Настоящие щитники (Pentatomidae) (58,0 %) и Щитники-черепашки (Scutelleridae) (12,0 %) отряда Полужесткокрылые (Клопы) (Hemiptera) – в сумме 70,0 % (рис. 4). Основные виды клопов, присутствующие в посевах культуры в вегетационные периоды 2023 и 2024 гг., следующие: элия остроголовая (*Aelia acuminata* L.) – доминирование, 80,5 %; элия носатая (*Aelia rostrata* Boh.) – 5,7 %, черепашка маврская (*Eurygaster maura* L.) – 8,2 %, черепашка влаголюбивая (*Eurygaster testudinaria* Geoffr.) – 0,8 % и щитник остроплечий (*Carpocoris fuscispinus* Boh.) – 4,8 %. Так, в начале III декады июня 2023 г. наблюдался высокий температурный фон (+27,3…+29,9 °С) без осадков и учитывалось насекомых рода Aelia 2 000,0 ос/100 взмахов сачком, или 125,0 ос/м^2, что превышало пороговое значение в 62,5 раза. В 2024 г. в агроценозах в период колошения клопы-щитники в стадии имаго составили 120,0 ос/100 взмахов сачком, или 10,0 ос/м^2. При проведении обследований в конце мая (начало образования зерна) плотность имаго клопов рода Aelia в посевах культуры была 0,8–6,3 ос/м^2 и рода Eurygaster – 0,08–0,5 ос/м^2. Таких видов насекомых, как пьявицы, тли, листовые пилильщики, – от 3,0 до 10,0 %. В период конец кущения – начало выхода в трубку

(II декада мая) на культуре методом визуального осмотра растений в посевах культуры в Гомельской области учитывались яйца (0,14 шт/стебель) и личинки пьявиц I–II возраста (0,2–0,7 ос/стебель), бескрылые самки и личинки I возраста тли черемуховой (0,12–0,2 ос/стебель).

В кошениях также отмечена цикадка шеститочечная: в 2023 г. – от 23,0 до 80,0 ос/100 взмахов сачком, в 2024 г. – от 1,0 до 618,0 ос/100 взмахов сачком. В комплексе вредителей ячменя цикадки составили 4,2 % от общей численности (рис. 4).

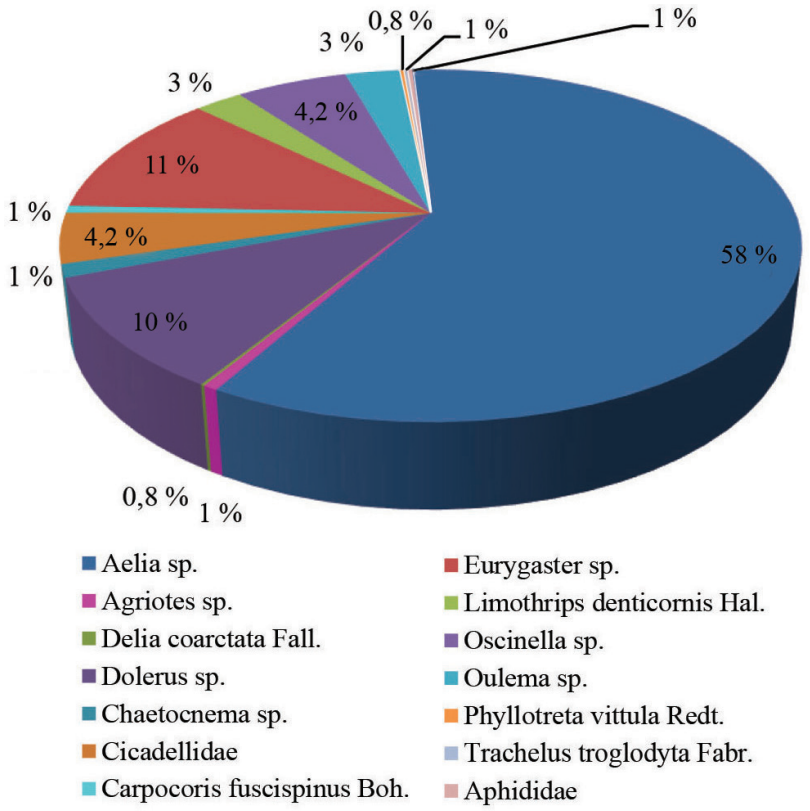


Рис. 4. Структура доминирования вредителей в агроценозах ячменя озимого в Гомельской области (по данным маршрутных обследований, 2023–2024 гг.)

Fig. 4. Structure of pest dominance in winter barley agrocenoses in Gomel region (according to route surveys, 2023–2024)

По данным маршрутных обследований в Брестской области выявлено, что в посевах ячменя озимого доминируют насекомые рода Oscinella sp. (27,0 %) (рис. 5). В вегетационных условиях 2023–2024 гг. представители вредителей рода Oulema sp. составили 20,0 %. Так, на сорте Изоцел в фазе выход в трубку (1–2 узла) (II декада апреля) с помощью энтомологического сачка выкашивалось 190,0–210,0 ос/100 взмахов (60–78 га), 90,0–110,0 (59–90 га), 78,0–82,0 (68–73 га) ос/100 взмахов имаго пьявицы красногрудой (на растениях отмечены единичные яйца вредителя), сорта Титус (53–60 га) – 59,0–66,0 ос/единица учета. В кошениях также выявлены шведские мухи – до 15,0–18,0 ос/100 взмахов сачком, клопы семейства Настоящие щитники – элия остроголовая – 1,0–2,0 ос/100 взмахов. При визуальном учете на растениях учитывались имаго и личинки большой злаковой тли – 1,0–3,0 ос/растение. В фазе цветения (II декада мая) в кошениях отмечены имаго шведских мух второго поколения – 62,0–150,0 ос/100 взмахов сачком, клопов-щитников – 15,0–30,0 ос/единица учета. В Ивановском районе (2024 г.) в стадии 1–2 узлов ячменя озимого на сорте Изоцел выкашивалось до 390,0 особи шведских мух, 18,0–190,0 особи жуков пьявицы красногрудой. В Малоритском

районе выявлено 32,0 ос. остроголовых клопов/100 взмахов сачком, 5,0 – черепашки маврской и 7,0 ос/единица учета – остроплечих клопов.

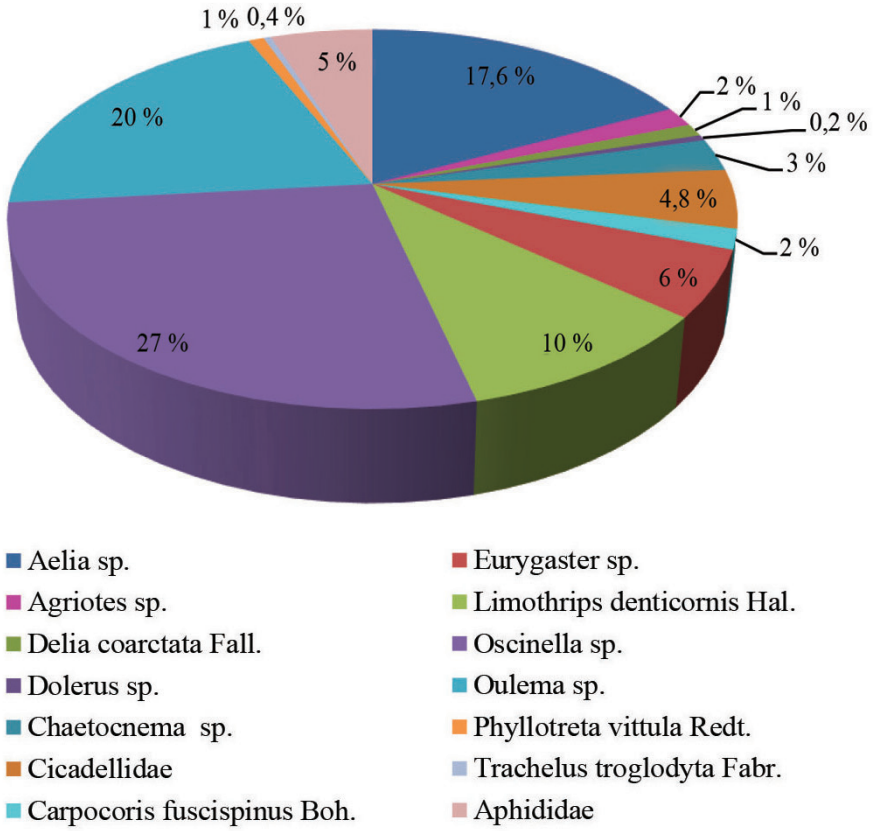


Рис. 5. Структура доминирования вредителей в агроценозах ячменя озимого в Брестской области (по данным маршрутных обследований, 2023–2024 гг.)

Fig. 5. Structure of pest dominance in winter barley agrocenoses in Brest region (according to route surveys, 2023–2024)

Идентична структура доминирования вредных насекомых в Минской области, где также с высокой численностью отмечены шведские мухи – 60,0 % (рис. 6). Жесткокрылые вредители представлены в основном видами рода Oulema sp. – 9,0 %. На опытном поле института во II–III декадах мая 2023 г. отмечено высокое количество яиц (0,56–0,64 шт/стебель) и в I декаде июня – личинок (0,54–0,62 ос/стебель) пьявицы. Во II декаде июня отмечено интенсивное нарастание популяций настоящих тлей – 10,2 ос/стебель и 19,8 ос/колос. В Пуховичском районе заселенность растений тлями была низкой и составила 0,02–0,32 ос/стебель.

На опытных делянках РУП «Научно-практический центр по земледелию» мониторинг в посевах ячменя озимого показал, что в конце II и в III декаде мая 2024 г. на сортах Днепр, Выток, Буслик, Свитанок численность фитофагов была ниже пороговых значений – выкашивалось на 100 взмахов сачком: имаго пьявицы красногрудой – 3,0–5,0 ос., клопов-щитников и щитников-черепашек – 7,0 ос. и 5,0 ос., листовых пилильщиков – по 1,0 ос. При визуальном осмотре на растениях отмечены единичные яйца пьявиц, а также крылатые особи тли черемуховой и большой злаковой. В 2023–2024 гг. при визуальном учете в посевах ячменя озимого (сорта Буслик, Тенор) в Минском районе (УП «Агрокомбинат «Ждановичи») также отмечена яйцекладка (0,2 и 0,6 шт/стебель в стадии середина колошения) и пороговая численность личинок (в среднем 0,70–0,82 ос/стебель в период цветения культуры) пьявиц, а также активное заселение растений крылатыми особями тли черемуховой и большой злаковой (0,07–0,9 ос/стебель).

В Минской области (осень 2023 и 2024 гг.) заселенность растений ячменя озимого тлей амфигонного поколения семейства Aphididae составила 10,0 % с численностью 0,1–2,4 ос/стебель.

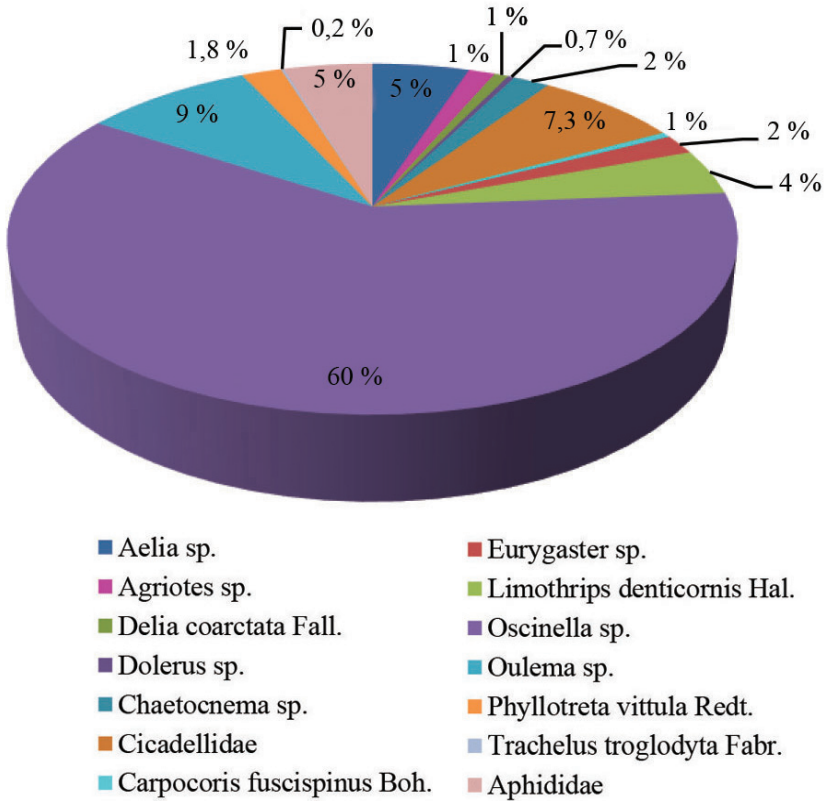


Рис. 6. Структура доминирования вредителей в агроценозах ячменя озимого в Минской области (по данным маршрутных обследований, 2023–2024 гг.)

Fig. 6 Structure of pest dominance in winter barley agrocenoses in Minsk region (according to route surveys, 2023–2024)

В Гродненской области численность листогрызущих и сосущих вредителей в агроценозах находилась на низком уровне. В фазе колошения – цветения ячменя озимого сорта Бажант выявлены личинки пьявицы – 0,42–0,54 ос/стебель, отмечено повреждение отдельных растений трипсом ржаным. В этот период выкашивалось шведских мух второго поколения 120,0–135,0 ос/100 взмахов сачком (2023 г.) и 1 300,0–1 450,0 ос/единица учета (2024 г.).

В Витебской области выявлено, что в Северной зоне Беларуси интенсивный лет шведских мух второго (летнего) поколения в посевах ячменя озимого сорта Буслик отмечен в начале III декады июня (2023 г.) и в конце месяца (2024 г.), что совпало с фазой колошения – цветения культуры. Численность мух достигала свыше 1 900–2 500 ос/100 взмахов сачком (доминировала шведская муха овсяная – 81,8–84,3 %), поврежденность зерен личинками составила 0,3–4,0 %. Массовое появление стеблевых блошек нового поколения (57–68 ос/100 взмахов сачком) на ячмене пришлось на I декаду июля, когда культура находилась в стадии молочной спелости.

Таким образом, фаунистический анализ энтомокомплекса в агроценозах ячменя озимого за 2023–2024 гг. показал, что среди вредителей, обитающих на растениях, эвдоминантными являлись шведские мухи (Брестская и Гродненская области – 40,2 %, Минская и Могилевская – 45,9 %), доминантными и субдоминантными – пьявица красногрудая, цикадка шеститочечная, тля черемуховая, клопы рода Aelia spp. (10,7 % (Брестская и Гродненская области) и 3,5 % (Минская и Могилевская)). В Витебской области эвдоминанты – шведские мухи (89,5 %), субдоминанты – стеблевые блошки (7,6 %). В Гомельской области сосущие

насекомые рода Aelia spp. – эвдоминанты (60,8 %), цикадка шеститочечная – доминант (10,3), Oscinella sp. – субдоминанты (6,9 %).

Полезная энтомофауна за годы исследований в агроценозах ячменя озимого в период вегетации представлена видами наездников из семейств Pteromalidae и Ichneumonidae – 2,0–12,0 ос/100 взмахов сачком, имаго Coccinellidae (*Coccinella septempunctata* L., *Propylea quatuordecimpunctata* L., *Adalia bipunctata* L., *Hippodamia tredecimpunctata* L., Harmonia sp.) – 1,0–9,0, Syrphidae – 1,0–6,0, Cantharidae – 1,0–3,0 и Araneidae – 1,0–11,0 ос/единица учета. Процент паразитированных самок тли составил 17,3–24,6 %.

Накопленная за период 2023–2024 гг. информация по распространению доминантных видов вредителей в посевах ячменя озимого, возделываемого в разных агроклиматических зонах Республики Беларусь, их биологических особенностях легла в основу базы данных распространения и видового состава вредных объектов в посевах культуры.

На опытном поле РУП «Институт защиты растений» в полевых опытах методом химического контроля уточнена вредоносность личинок жуков-щелкунов, шведских мух и пьявицы красногрудой на ячмене озимом (сорт Титус), а также клопов рода Aelia в производственных условиях в Гомельской области (сорт Дипло).

Полученные результаты показывают, что вредители наносят значительный ущерб урожаю и применение инсектицидов, направленных на снижение вредоносности, позволяет сохранить урожай зерна ячменя озимого на 1,7–4,1 ц/га, или на 2,7–20,5 % (табл. 2).

Таблица 2. **Вредоносность фитофагов в посевах ячменя озимого (полевые опыты, РУП «Институт защиты растений», 2022–2024 гг.)**

Table 2. **Harmfulness of phytophags in winter barley crops (field experiments, RUE "Institute of Plant Protection", 2022–2024)**

Вариант	Повреждено растений, %	Снижение поврежденности, %	Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна	
				ц/га	%
Личинки (проволочники) щелкунов (посевной полосатый и малый) – всходы (ДК 09–10)					
Контроль	22,5	–	63,5	–	–
Инсектицид*	2,7	88,0	65,2	1,7	2,7
Личинки шведских мух (ячменная и овсяная) третьего (осеннего) поколения – стадия 1–3 листа (ДК 11–13)					
Контроль	17,4	–	63,0	–	–
Инсектицид	2,5	85,6	64,8	1,8	2,9
Вариант	Численность личинок, ос/стебель	Снижение плотности, %	Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна	
				ц/га	%
Личинки пьявицы красногрудой – стадия цветения (ДК 61)					
Контроль	0,55	–	64,6	–	–
Инсектицид	0,06	89,1	66,7	2,1	3,3
Вариант	Численность имаго, ос/м^2	Снижение плотности, %	Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна	
				ц/га	%
Имаго элии остроголовой – стадия конец колошения (ДК 59)					
Контроль	5,6	–	20,0	–	–
Инсектицид	0,4	92,9	24,1	4,1	20,5

* В отношении проволочников использовали препарат для предпосевной обработки семян инсектицидного действия.

* In relation to wireworms, a preparation with insecticidal action was used for pre-sowing seed treatment.

В условиях Гомельской области в посевах ячменя озимого оценка вредоносности клопов перезимовавшего поколения проведена методом химического контроля. В табл. 2 показано эффективное снижение вредоносности элии остроголовой при применении инсектицида контактного действия, что позволило сохранить урожай зерна культуры на 4,1 ц/га, или на 20,5 %. Также отмечено вредное воздействие имаго полужесткокрылых вредителей перезимовавшего поколения на структуру урожая ячменя озимого – масса 1 000 зерна увеличилась на 7,2 г.

Нами уточнены относительные коэффициенты вредоносности личинок щелкунов, шведских мух осеннего (третьего) поколения, пьявицы красногрудой, а также впервые на основании результатов исследований рассчитаны коэффициенты вредоносности для имаго клопов-щитников в посевах ячменя озимого. Это позволило установить ЭПВ доминантных видов насекомых-вредителей с учетом затрат на химическую обработку опытных делянок инсектицидами и закупочной цены зерна на продовольственные цели (табл. 3). Так, в посевах культуры ЭПВ пьявиц составляет 0,56 ос/стебель, клопов – 5,3 ос/м^2.

Таблица 3. **Относительные коэффициенты и экономические пороги вредоносности (ЭПВ) фитофагов в посевах ячменя озимого (по данным полевых опытов, 2023–2024 гг.)**

Table 3. **Relative coefficients and economic thresholds of harmfulness (ETH) of phytophags in winter barley crops (based on field experiments, 2023–2024)**

Вредитель	Относительный коэффициент вредоносности, %	ЭПВ
Щелкуны	0,18	16,7 ос/м^2 почвы
Шведские мухи	0,19	28,0 ос/100 взмахов сачком
Пьявица красногрудая	0,16	0,56 ос/стебель
Клопы (Aelia, Eurygaster)	0,56	5,3 ос/м^2

В ходе проведения исследований установлено, что развитие и вредоносность доминантных видов фитофагов (жуки-щелкуны, шведские мухи, пьявица, клопы) на озимом ячмене отличались от вредоносности этих насекомых на яровой форме культуры.

В 2023–2024 гг. для формирования ассортимента препаратов для предпосевной обработки семян и инсектицидов в период вегетации оценена эффективность токсикантов из разных химических классов (пиретроиды, неоникотиноиды и комбинированные препараты) против основных вредителей ячменя озимого. На опытном поле РУП «Институт защиты растений» для оценки эффективности защиты всходов сорта Титус от личинок жуков-щелкунов и шведских мух семена перед посевом (13 сентября 2023 г.) обрабатывали препаратами инсектицидного действия (однокомпонентные, которые содержат действующие вещества системного действия из класса неоникотиноиды: Пикус, КС (имидаклоприд, 600 г/л) – 0,5 л/т, Харита, КС (тиаметоксам, 600 г/л) – 0,5 л/т и Такер, КС (клотианидин, 600 г/л) – 0,6 л/т) и инсектицидно-фунгицидного (Багрец Плюс, КС (флудиоксонил, 50 г/л + азоксистробин, 21 г/л + ацетамиприд, 250 г/л) – 1,0 л/т и Кинг Комби, КС (ацетамиприд, 100 г/л + флудиоксонил, 34 г/л + ципроконазол, 8,3 г/л) – 1,5 л/т).

Результаты опытов показали, что биологическая эффективность препаратов для предпосевной обработки семян инсектицидного и инсектицидно-фунгицидного действия по снижению поврежденности растений ячменя озимого проволочниками составила 85,3–87,5 % (табл. 4). Высокую эффективность данные препараты для обработки семян культуры показали в отношении поврежденности растений личинками шведских мух – 75,9–80,8 %. Урожай зерна ячменя по вариантам опытов повысился по отношению к контрольному на 1,0–1,6 ц/га, или на 1,6–2,5 %.

Аналогичные данные получены осенью 2024 г. на опытном поле РУП «Институт защиты растений» при обработке семян культуры однокомпонентными препаратами и токсикантами инсектицидно-фунгицидного действия. При оценке эффективности препарата Пикус, КС, Харита, КС и Такер, КС установлено, что поврежденность растений проволочниками уменьшилась на 82,3–84,6 % (при численности 21,6 ос/м^2 почвы), шведскими мухами – на 61,4–72,3 % (при численности 32,0 ос/100 взмахов сачком). Биологическая эффективность препаратов Багрец Плюс, КС и Кинг Комби, КС составила 87,8 и 89,3 % – от проволочников, 75,4 и 76,2 % – от шведских мух.

При проведении исследований отмечено негативное влияние препаратов для предпосевной обработки семян ячменя инсектицидного действия на полезную фауну. При применении

препаратов с д. в. имидаклоприд плотность жужелиц снизилась на 36,8–42,4 %, тиаметоксам – на 12,6–28,4, клотианидин – на 18,4–22,1, ацетамиприд – на 27,8–32,0 %.

Таблица 4. **Эффективность препаратов для предпосевной обработки семян ячменя озимого от личинок щелкунов (полевые опыты, д. Атолино, Минский район, сорт Титус, 2023–2024 гг.)**

Table 4. **Efficiency of preparations for pre-sowing treatment of winter barley seeds against click beetle larvae (field experiments, village of Atolino, Minsk region, Titus variety, 2023–2024)**

Вариант, норма расхода препарата, л/т	Повреждено растений, %	Биологическая эффективность, %	Количество продуктивных стеблей, шт/м^2	Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна	
					ц/га	%
Контрольный вариант	22,4	–	812,0	63,5	–	–
Пикус, КС, 0,5	3,2	85,7	930,0	64,6	1,1	1,7
Харита, КС, 0,5	2,8	87,5	917,0	65,1	1,6	2,5
Такер, КС, 0,6	3,0	86,6	924,0	64,5	1,0	1,6
Багрец Плюс, КС, 1,0	3,3	85,3	938,0	64,6	1,1	1,7
Кинг Комби, КС, 1,5	3,1	86,1	930,0	65,0	1,5	2,4
$НСР_{05}$			4,6	2,1	–	–

Примечание. Численность проволочников перед посевом 21,3 ос/м^2 почвы.
Note. Number of wireworms before sowing was 21.3 sp/m^2 of soil.

Для разработки защитных химических мероприятий в посевах ячменя озимого проведена оценка инсектицидов с разным механизмом действия и различными действующими веществами в период вегетации против доминантных видов вредителей. В 2023 г. при обработке опытных делянок культуры препаратами Галил, КС (имидаклоприд, 250 г/л + бифентрин, 50 г/л; 0,08 и 0,1 л/га) и Декстер, КС (лямбда-цигалотрин, 106 г/л + ацетамиприд, 115 г/л; 0,15 и 0,2 л/га) плотность личинок Oulema sp. на 3-и сутки учета снизилась на 92,3–100,0 %, ложногусениц настоящих пилильщиков – на 86,5–100,0 %. Биологический эффект инсектицидов в ограничении численности злаковых тлей на 3-и сутки учета составил 86,5–91,9 %, на 7-е – 89,0–94,0, на 14-е – 73,7–84,2 %. За счет снижения численности и вредоносности листогрызущих и сосущих фитофагов на опытных делянках сохраненный урожай зерна ячменя озимого составил 4,4–8,9 %, что было статистически достоверно по отношению к контрольному варианту (64,0 ц/га).

В начале I декады июня 2024 г., когда растения ячменя озимого находились в фазе цветения (ДК 69), на растениях учитывалось личинок пьявиц 0,58 ос/стебель (ЭПВ 0,56 ос/стебель). Также на растениях отмечены ложногусеницы (II и III возраста) настоящих пилильщиков – 0,31 ос/стебель. Сложившаяся ситуация послужила обоснованием для проведения инсектицидной обработки согласно схеме опыта: 1) контрольный вариант, 2) Галил, КС – 0,1 л/га, 3) Борей Нео, СК (альфа-циперметрин, 125 г/л + имидаклоприд, 100 г/л + клотианидин, 50 г/л) – 0,12 л/га, 4) Имидашанс Плюс, СК (имидаклоприд, 150 г/л + лямбда-цигалотрин, 50 г/л) – 0,12 л/га, 5) Беретта, МД (бифентрин, 60 г/л + тиаметоксам, 40 г/л + альфа-циперметрин, 30 г/л) – 0,4 л/га. Биологическая эффективность инсектицидов на 3-и сутки учета в снижении численности личинок пьявиц составила 87,1–93,5 %, на 7-е – 90,4–96,2 %, на 10-е – 91,3–100 % (табл. 5). Биологическая эффективность препаратов при численности ложногусениц листовых пилильщиков выше пороговой (0,32 ос/стебель) составила 90,6–100 % (см. табл. 5).

За счет снижения вредоносности листогрызущих вредителей по вариантам опытов сохранено зерна ячменя озимого 1,9–2,9 ц/га, или 3,0–4,5 %, при урожайности в варианте без обработки 64,1 ц/га. При анализе структуры биологического урожая отмечено достоверное увеличение массы 1 000 зерен на 0,8–0,9 г (см. табл. 5).

Результаты применения трехкомпонентного инсектицида Беретта, МД (0,3–0,4 л/га) от клопов семейств Настоящие щитники и Щитники-черепашки (Гомельская область) с численностью 10,0 ос/м^2 в посевах ячменя озимого сорта Дипло в стадии конец колошения (ДК 59) показали, что препарат снижал численность вредителей с разными нормами его расхода на 89,3–99,4 %. Это позволило сохранить урожай зерна на уровне 6,3–6,9 ц/га, или 31,3–34,3 %, что было статистически достоверно по отношению к урожаю в контрольном варианте. Анализ структуры биологического урожая показал, что у растений достоверно увеличилась масса 1 000 зерен на 2,3–2,7 г.

Таблица 5. **Биологическая и хозяйственная эффективность инсектицидов от листогрызущих вредителей в посевах ячменя озимого (полевые опыты, опытное поле РУП «Институт защиты растений», сорт Титус, 2024 г.)**

Table 5. **Biological and economic efficiency of insecticides against leaf-eating pests in winter barley crops (field experiments, experimental field of the RUE "Institute of Plant Protection", Titus variety, 2024)**

Вариант, норма расхода препарата, л/га	Личинки пьявиц, ос/стебель			Ложногусеницы листовых пилильщиков, ос/стебель			Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна		Масса 1 000 зерен, г
	снижение численности относительно исходной после обработки по дням учетов, %							ц/га	%	
	3	7	10	3	7	14				
Контрольный вариант	0,62*	0,52*	0,46*	0,32*	0,28*	0,2*	64,1	–	–	47,3
Галил, КС, 0,1	87,3	90,4	91,3	93,8	100	100	66,3	2,2	3,4	48,5
Имидашанс Плюс, СК, 0,12	87,1	88,5	89,1	90,6	96,4	100	66,0	1,9	3,0	48,2
Борей Нео, СК, 0,12	91,9	94,2	95,7	90,6	100	100	66,3	2,2	3,4	48,6
Беретта, МД, 0,4	93,5	96,2	100	93,8	100	100	67,0	2,9	4,5	49,7
$НСР_{05}$							0,86	–	–	0,47

* Численность личинок вредителей, ос/стебель; дата обработки – 04.06.2024 г.; до обработки: личинки пьявиц – 0,58 ос/стебель (ЭПВ 0,5 ос/стебель), ложногусеницы пилильщиков – 0,31 ос/стебель.

* Number of pest larvae, sp/stem; date of treatment – 04.06.2024; before treatment: leaf beetle larvae – 0.58 sp/stem (EPV 0.5 sp/stem), sawfly larvae – 0.31 wasps/stem.

Установлено, что даже при невысоком сохраненном урожае зерна ячменя озимого прием применения двух- и трехкомпонентных инсектицидов независимо от их стоимости окупается величиной сохраненного урожая (табл. 6).

Таблица 6. **Экономическая эффективность инсектицидов для защиты ячменя озимого от вредителей (расчетные показатели по данным полевых опытов, 2024 г.)**

Table 6. **Economic efficiency of insecticides for protection of winter barley from pests (estimated indicators based on field experiments data, 2024)**

Вариант (норма расхода, л/га)	Стоимость, долл. США				Сохраненный урожай, ц/га	Условный чистый доход, долл. США	Окупаемость, ц
	обработки 1 га	доработки	сохраненного урожая	всех затрат			
От листогрызущих вредителей (пьявица красногрудая, листовые пилильщики)							
Галил, КС (0,1)	7,0	7,0	29,3	14,0	2,2	15,3	1,6
Борей Нео, СК (0,12)	10,5	7,0	29,3	17,5	2,2	11,8	1,9
От клопов (щитники, щитники-черепашки)							
Беретта, МД (0,4)	9,1	21,8	91,8	30,9	6,9	60,9	3,5

Полученные результаты исследований позволили расширить ассортимент инсектицидов за счет наиболее высокоэффективных препаратов, которые необходимо применять прежде всего с учетом видового состава вредителей, стадии их развития и ЭПВ, что позволит максимально снизить вредоносность фитофагов, сохранить полезных насекомых и значительно увеличить сохраненный урожай зерна ячменя озимого.

Выводы. 1. На основании фаунистических исследований за период 2023–2024 гг. уточнена вредная и полезная фауна ячменя озимого, установлены доминирующие виды и наибольшая их вредоносность в период вегетации растений. В начальный (первый) период при прорастании семян до стадии 4–5 листьев растения повреждают многоядные почвообитающие и наземные фитофаги – шведские мухи, виды цикадок, во второй период (кущение – выход в трубку) – комплекс насекомых, повреждающих листья, стебли и формирующих генеративные органы, в третий (выход в трубку – колошение) отмечена высокая вредоносность пьявицы красногрудой, листовых пилильщиков и клопов, в 2023 г. – и от злаковых тлей. Полезная энтомофауна в агроценозах культуры в период вегетации представлена видами наездников из семейств Pteromalidae, Ichneumonidae и Braconidae – 17,0–32,0 ос/100 взмахов сачком, имаго и личинками Coccinellidae (семиточечная тлевая коровка (*Coccinella septempunctata* L.), пропилея четырнадцатиточечная (*Propylea quatuordecimpunctata* L.), коровка двухточечная (*Adalia bipunctata* L.), гипподамия тринадцатиточечная (*Hippodamia tredecimpunctata* L.), коровки-арлекины (Harmonia sp.)) – 0,08–0,24 ос/стебель, Syrphidae (сирфиды) и Chrysopidae (златоглазки) – 0,1 ос/стебель (личинки), или 1,0–6,0 ос/100 взмахов сачком (имаго), Cantharidae – 1,0–3,0 и Araneidae – 1,0–11,0 ос/единица учета.

Результаты оценки 6 сортов ячменя озимого на опытном поле РУП «Институт защиты растений» показали, что исследуемые сорта заселялись и повреждались доминантными вредителями. Однако интенсивность повреждения сорта и плотность насекомых в посевах разнились. Наибольшая поврежденность ячменя озимого личинками (проволочниками) жуков-щелкунов отмечена на сорте Титус – 22,5 %; больше всех сортов культуры злаковыми мухами первого (весеннего) поколения заселялся сорт Бажант – 734,0 ос/100 взмахов сачком; максимальная численность личинок пьявиц учитывалась на сорте Бажант – 0,64 ос/стебель.

2. Дана оценка вреда от доминантных фитофагов в посевах ячменя озимого, рассчитаны относительные коэффициенты и экономические пороги вредоносности личинок жуков-щелкунов – 0,18 % и 16,7 ос/м^2 почвы; шведских мух – 0,19 % и 28,0 ос/100 взмахов сачком; пьявицы красногрудой – 0,16 % и 0,56 ос/стебель; клопов – 0,56 % и 5,3 ос/м^2.

3. В условиях опытного поля с целью расширения ассортимента инсектицидов оценена биологическая и хозяйственная эффективность препаратов инсектицидного и инсектицидно-фунгицидного действия для предпосевной обработки семян в снижении поврежденности растений почвообитающими вредителями (личинки (проволочники) щелкунов) – 85,3–87,5 % и внутристеблевыми (личинки шведских мух) – 75,9–80,8 %. В полевых и производственных условиях при применении одно- и двухкомпонентных инсектицидов для снижения численности и вредоносности комплекса доминантных видов фитофагов в период вегетации ячменя озимого получена биологическая эффективность 87,1–100,0 % с сохранением 3,0–34,3 % урожая зерна.

4. По результатам проведенных исследований препараты для предпосевной обработки семян ячменя озимого: Такер, КС (клотианидин, 600 г/л) в норме расхода 0,6 л/т в отношении проволочников и злаковых мух (2023 г.); Харита, КС с д. в. тиаметоксам, 600 г/л (0,3–0,5 л/т) в отношении проволочников (2024 г.); инсектициды, применяемые в период вегетации культуры: Галил, КС (имидаклоприд, 250 г/л + бифентрин, 50 г/л) в норме расхода 0,08–0,1 л/га в отношении пьявиц, злаковых тлей и листовых пилильщиков (2024 г.); Беретта, МД (бифентрин, 60 г/л + тиаметоксам, 40 г/л + альфа-циперметрин, 30 г/л) в норме расхода 0,3–0,4 л/га в отношении клопов, пьявиц и листовых пилильщиков (2025 г.); Имидашанс Плюс, КС (имидаклоприд, 150 г/л + лямбда-цигалотрин, 50 г/л) в норме ркасхода 0,12 л/га от пьявиц и листовых пилильщиков (2025 г.) включены в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии», 2021–2025, задание 2.110 «Усовершенствовать и внедрить системы защиты ячменя озимого и ярового от вредителей, болезней и сорных растений, обеспечивающие повышение биологической эффективности приемов и сохранение урожая».

Acknowledgments. The research has been carried out within the State Scientific and Technical Program "Innovative Agro-Industrial and Food Technologies", 2021–2025, task 2.110 "To improve and implement systems for protecting winter and spring barley against pests, diseases and weeds, ensuring increase in biological efficiency of techniques and preservation of harvest."

Список использованных источников

1. Сенченко, В. Г. Озимый ячмень в Беларуси / В. Г. Сенченко, И. И. Яцкевич // Белорус. сел. хоз-во. – 2009. – № 8. – С. 8–10.

2. Хилевский, В. А. Интегрированная защита ячменя в Ростовской области / В. А. Хилевский // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию Кубан. гос. аграр. ун-та, Краснодар, 19–23 июня 2017 г. / Кубан. гос. аграр. ун-т; отв. ред. А. С. Замотайлов. – Краснодар, 2017. – С. 469–473.

3. Бойко, С. В. Озимый ячмень: основные вредители и защита посевов в период вегетации / С. В. Бойко // Белорус. сел. хоз-во. – 2023. – № 5. – С. 148–156.

4. Интегрированная система защиты зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков: (рекомендации) / С. В. Сорока, Л. И. Трепашко, А. Г. Жуковский [и др.]; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Несвиж: Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного, 2012. – 176 с.

5. López, Ó. New trends in pest control: the search for greener insecticides / Ó. López, J. G. Fernández-Bolaños, M. Gil // Green Chemistry. – 2005. – Vol. 7, № 6. – P. 431–442. https://doi.org/10.1039/b500733j

6. Бойко, С. В. Листовые пилильщики (Hymenoptera: Tenthredinidae) на посевах озимых зерновых культур в Беларуси / С. В. Бойко // IV Евроазиатский симпозиум по перепончатокрылым насекомым (Владивосток, 9–15 сентября 2019 г.) = IV Eurasian symposium on hymenoptera (Vladivostok, 9–15 September 2019): тез. докл. / Рос. акад. наук, ФНЦ биоразнообразия назем. биоты Вост. Азии, Рус. энтомол. о-во; редкол.: М. Ю. Прощалыкин (отв. ред.) [и др.]. – Владивосток, 2019. – С. 61–62.

7. Трепашко, Л. И. Защита ярового тритикале и озимого ячменя от основных вредителей в Беларуси / Л. И. Трепашко, О. Ф. Слабожанкина, С. В. Бойко // Защита растений: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Несвиж, 2013. – Вып. 37. – С. 246–258.

8. Слепченко, Л. Г. Вредители зерновых культур / Л. Г. Слепченко. – Гродно: ГГАУ, 2011. – 44 с.

9. Защита ячменя: комплексная система / Bayer Crop Science. – М.: Bayer, 2023. – 79 с. – URL: https://www.cropscience.bayer.ru/uploads/s1/attachment/5e25ccd188a81.pdf (дата обращения: 28.02.2024).

10. Меньшова, Е. А. Эффективность альтернативных методов предпосевной обработки семян в защите ярового ячменя от листовых болезней, вредителей всходов и стеблей и повышении его урожайности в лесостепи среднего Поволжья / Е. А. Меньшова, В. Г. Каплин, Т. С. Нижарадзе // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию Кубан. гос. аграр. ун-та, Краснодар, 19–23 июня 2017 г. / Кубан. гос. аграр. ун-т; отв. ред. А. С. Замотайлов. – Краснодар, 2017. – С. 283–286.

11. Веневцев, В. З. Комплексное действие протравливания озимых зерновых культур / В. З. Веневцев // Защита и карантин растений. – 2014. – № 9. – С. 21–22.

12. Трепашко, Л. И. Формирование ассортимента инсектицидов для защиты семян и посевов зерновых колосовых культур в Беларуси / Л. И. Трепашко, С. В. Бойко, Л. П. Василевская // Защита и карантин растений. – 2021. – № 9. – С. 16–21.

13. Бойко, С. В. Биологическое обоснование мероприятий по защите озимых зерновых культур от пьявиц / С. В. Бойко // Защита растений: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Минск, 2019. – Вып. 43. – С. 219–233.

14. Бойко, С. В. Мониторинг пьявиц (Oulema sp.) в посевах озимых зерновых культур / С. В. Бойко, А. В. Бартош // Современные технологии сельскохозяйственного производства: агрономия, защита растений: сб. науч. ст. по материалам XXVI Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 23 марта 2023 г.) / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно, 2023. – С. 29–31.

15. Шакирова, Г. Н. Важность агротехнических методов против вредителей растений / Г. Н. Шакирова, Ш. Т. Хужаев // Universum: технические науки. – 2020. – № 7 (76), ч. 2. – С. 25–28.

16. Бойко, С. В. Двухкомпонентные инсектициды – эффективность на зерновых колосовых культурах в период вегетации / С. В. Бойко, Л. П. Василевская, Ю. И. Хотынюк // Защита растений: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Минск, 2020. – Вып. 44. – С. 124–137.

17. Трепашко, Л. И. Экономическая, энергетическая эффективность и экологическая безопасность систем защиты растений / Л. И. Трепашко; Белорус. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – Минск: [б. и.], 2000. – 134 с.

18. Бойко, С. В. Анализ численности популяций вредителей ячменя озимого в Центральной зоне Беларуси / С. В. Бойко, Ю. И. Хотынюк // Зоологические чтения: сб. науч. ст., посвящ. 130-летию д-ра биол. наук, проф. А. В. Федюшина / Гродн. гос. ун-т; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.), А. В. Рыжая, А. Е. Караевский. – Гродно, 2021. – С. 35–38.

References

1. Senchenko V. G., Yatskevich I. I. Winter barley in Belarus. *Belorusskoe sel'skoe khozyaistvo* [Belarusian Agriculture], 2009, no. 8, pp. 8–10 (in Russian).

2. Khilevskii V. A. Integrated barley protection in the Rostov region. *Agrotekhnicheskii metod zashchity rastenii ot vrednykh organizmov: materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnodar, 19–23 iyunya 2017 g.* [Agrotechnical method of plant protection against pests: proceedings of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University, Krasnodar, June 19–23, 2017]. Krasnodar, 2017, pp. 469–473 (in Russian).

3. Boiko S. V. Winter barley: main pests and crop protection during the growing season. *Belorusskoe sel'skoe khozyaistvo* [Belarusian Agriculture], 2023, no. 5, pp. 148–156 (in Russian).

4. Soroka S. V., Trepashko L. I., Zhukovskii A. G. [et al.]. *Integrated system of grain crops protection against pests, diseases and weeds*. Nesvizh, Nesvizh consolidated printing house n. a. S. Budny, 2012. 176 p. (in Russian).

5. López Ó., Fernández-Bolaños J. G., Gil M. New trends in pest control: the search for greener insecticides. *Green Chemistry*, 2005, vol. 7, no. 6, pp. 431–442. https://doi.org/10.1039/b500733j

6. Boiko S. V. Leaf sawflies (Hymenoptera: Tenthredinidae) on winter grain crops in Belarus. *IV Eurasian symposium on hymenoptera (Vladivostok, 9–15 September 2019): abstracts*. Vladivostok, 2019, pp. 61–62 (in Russian).

7. Trepashko L. I., Slabozhankina O. F., Boiko S. V. Protection of spring triticale and winter barley against major pests in Belarus. *Zashchita rastenii: sbornik nauchnykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers]. Nesvizh, 2013, iss. 37, pp. 246–258 (in Russian).

8. Slepchenko L. G. *Pests of grain crops*. Grodno, Grodno State Agrarian University, 2011. 44 p. (in Russian).

9. *Barley protection: an integrated system*. Moscow, Bayer, 2023. 79 p. Available at: https://www.cropscience.bayer.ru/uploads/s1/attachment/5e25ccd188a81.pdf (accessed 28.02.2024) (in Russian).

10. Men'shova E. A., Kaplin V. G., Nizharadze T. S. Effectiveness of alternative methods of pre-sowing seed treatment in protecting spring barley against foliar diseases, pests of seedlings and stems and increasing its yield in the forest-steppe of the middle Volga region. *Agrotekhnicheskii metod zashchity rastenii ot vrednykh organizmov: materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnodar, 19–23 iyunya 2017 g.* [Agrotechnical method of plant protection against pests: proceedings of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University, Krasnodar, June 19–23, 2017]. Krasnodar, 2017, pp. 283–286 (in Russian).

11. Venevtsev V. Z. Complex effect of seed dressing of winter cereal crops. *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*, 2014, no. 9, pp. 21–22 (in Russian).

12. Trepashko L. I., Boiko S. V., Vasilevskaya L. P. Providing the range of insecticides for protection seeds and plantings of cereals in the Belarus. *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*, 2021, no. 9, pp. 16–21 (in Russian).

13. Boiko S. V. Biological substantiation of winter grain crops protective measures against cereal leaf beetles. *Zashchita rastenii: sbornik nauchnykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers]. Minsk, 2019, iss. 43, pp. 219–233 (in Russian).

14. Boiko S. V., Bartosh A. V. Monitoring of leaf beetles (Oulema sp.) in winter grain crops. *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: agronomiya, zashchita rastenii: sbornik nauchnykh statei po materialam XXVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Grodno, 23 marta 2023 g.)* [Modern technologies of agricultural production: agronomy, plant protection: collection of scientific articles based on the materials of the XXVI International scientific and practical conference (Grodno, March 23, 2023)]. Grodno, 2023, pp. 29–31 (in Russian).

15. Shokirova G. N., Xojaev Sh. T. The importance of agrotechnical methods against pests. *Universum: tekhnicheskie nauku* [Universum: Technical Sciences], 2020, no. 7 (76), pt. 2, pp. 25–28 (in Russian).

16. Boiko S. V., Vasilevskaya L. P., Khotyniuk Yu. I. Two-component insecticides efficiency in cereals during vegetation. *Zashchita rastenii: sbornik nauchnykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers]. Minsk, 2020, iss. 44, pp. 124–137 (in Russian).

17. Trepashko L. I. *Economic, energy efficiency and environmental safety of plant protection systems*. Minsk, 2000. 134 p. (in Russian).

18. Boiko S. V., Khotynyuk Yu. I. The analysis of winter barley pest populations number in the Central zone of Belarus. *Zoologicheskie chteniya: sbornik nauchnykh statei, posvyashchennyi 130-letiyu doktora biologicheskikh nauk, professora Anatoliya Vladimirovicha Fedyushina* [Zoological readings: collection of scientific articles, dedicated to the 130th anniversary of Doctor of Biological Sciences, professor A. V. Fedyushin]. Grodno, 2021, pp. 35–38 (in Russian).

Информация об авторах

Жуковский Александр Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, первый заместитель директора, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0002-4788-9308. E-mail: zhukow_a@mail.ru

Запрудский Александр Анатольевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор Института защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0002-7209-4099. E-mail: a.zaprudski@mail.ru

Бойко Светлана Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией энтомологии, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0001-8152-4540. E-mail: svetlanaboiko@tut.by

Немкевич Марина Генриховна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории энтомологии, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: nemkevich_izr@tut.by

Бартош Александр Викторович – аспирант лаборатории энтомологии, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: bartosch@list.ru

Information about the authors

Alexander G. Zhukovsky – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, First Director Deputy of the Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira St., 223011, agrotown Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0002-4788-9308. E-mail: zhukow_a@mail.ru

Alexander A. Zaprudsky – Dr. Sc. (Agriculture), Associate Professor, Director of the Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira St., 223011, agrotown Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0002-7209-4099. E-mail: a.zaprudski@mail.ru

Svetlana V. Boyko – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Head of Entomology Laboratory, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira St., 223011, agrotown Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0001-8152-4540. E-mail: svetlanaboiko@tut.by

Marina G. Nemkevich – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher of Entomology laboratory, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira St., 223011, agrotown Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: nemkevich_izr@tut.by

Alexander V. Bartosh – Postgraduate Student of the Entomology Laboratory, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira St., 223011, agrotown Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: bartosch@list.ru

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

УДК 636.32/.38.082.12
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-145-153

Поступила в редакцию 05.08.2024
Received 05.08.2024

А. А. Оздемиров, А. А. Хожоков

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ГЕНОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ПОГОЛОВЬЯ ПОМЕСНЫХ ОВЕЦ

Аннотация. Объектом исследования являются гены *CAST* (специфический ингибитор кальпаина), *GH* (ген гормона роста) и *GDF9* (экспрессируется в ооцитах и необходим для фолликулогенеза яичников). Предмет исследования – генетическая структура помесей второго поколения мелкого рогатого скота. Целью исследований является изучение генетического полиморфизма у помесей мелкого рогатого скота. Научная новизна заключается в изучении аллельных вариантов генов посредством генотипирования помесных баранов поколения F2 в условиях Республики Дагестан. Были использованы метод гель-электрофореза, ПЦР-ПДРФ метод – с целью генотипирования в исследуемой выборке по генам *GH, GDF9, CAST.* При помощи стандартного набора формул осуществлялся генетико-статистический анализ. Полиморфизм гена *CAST* был представлен аллелью *M* с высокой (0,9) и аллелью *N* с низкой (0,1) частотой встречаемости. Гомозиготные генотипы $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$, а также гетерозиготный $CAST^{MN}$ распределились в следующем соотношении: 86,6; 6,7; 6,7 % соответственно. Своеобразие аллельного спектра гена *GH*, представленного двумя аллелями и двумя генотипами – GH^{A} и GH^{B}, GH^{AA} и GH^{AB}, выразилось в менее высокой частоте встречаемости аллеля GH^{A}, генотипа GH^{AA}, составившей 0,8 и 80 % соответственно. В исследуемой выборке при изучении полиморфизма локуса гена *GDF9* было определено, что частота встречаемости аллеля $GDF9^{G}$ в 1,7 раза выше по сравнению с частотой встречаемости аллеля $GDF9^{A}$ (0,37). В результате проведенных исследований установлен полиморфизм генов с разной частотой встречаемости. Анализ структуры исследуемых генов выявил селекционно значимые генотипы для целенаправленного отбора. В выборке изученного помесного скота второго поколения селекционно значимыми генотипами являются $CAST^{NN}$, GH^{BB}, $GDF9^{AA}$.

Ключевые слова: генотипирование, помесные бараны, аллельный спектр генов, повышение племенных качеств, полиморфизм, генетическая структура

Для цитирования: Оздемиров, А. А. Влияние генов на рост и развитие исследуемого поголовья помесных овец / А. А. Оздемиров, А. А. Хожоков // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 145–153. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-62-1-145-153

Alimsoltan A. Ozdemirov, Abdusalam A. Khozhokov

Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russian Federation

INFLUENCE OF GENES ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE STUDIED POPULATION OF CROSS-BREED SHEEP

Abstract. The research object are the genes: *CAST* (specific inhibitor of calpain), *GH* (growth hormone gene) and *GDF9* (expressed in oocytes and necessary for ovarian folliculogenesis). The research subject is the genetic structure of second-generation crossbreeds of small ruminants. The aim of the research is to study genetic polymorphism in crossbreeds of small ruminants. The scientific novelty consisted in the study of allelic variants of genes through genotyping of crossbred rams of the F2 generation in the conditions of the Republic of Dagestan. The following has been used for the research: gel electrophoresis method; PCR-RFLP method – for the purpose of genotyping the studied sample by the *GH, GDF9* and *CAST* genes. Genetic and statistical analysis was carried out using a standard set of formulas. Polymorphism of the *CAST* gene was represented by the *M* allele with a high (0.9) and the *N* allele with a low (0.1) frequency occurrence. Homozygous genotypes $CAST^{MM}$ and $CAST^{NN}$, as well as heterozygous $CAST^{MN}$ were distributed

© Оздемиров А. А., Хожоков А. А., 2025

in the following ratio: 86.6; 6.7; 6.7 % respectively. The peculiarity of the allelic spectrum of the *GH* gene, represented by two alleles and two genotypes – GH^{A} and GH^{B}, GH^{AA} and GH^{AB}, was expressed in a lower frequency of occurrence of the GH^{A} allele of GH^{AA} genotype, which amounted to 0.8 and 80 %, respectively. In the studied sample, when studying the polymorphism of the *GDF9* gene locus, it has been determined that the frequency of occurrence of $GDF9^{G}$ allele was 1.7 times higher than the frequency of occurrence of $GDF9^{A}$ allele (0.37). As a result of the research, polymorphism of genes with different frequencies of occurrence was established. Analysis of the structure of the studied genes revealed significant genotypes in terms of breeding for targeted selection. In the sample of the studied second-generation crossbred cattle, the significant genotypes in terms of breeding are $CAST^{NN}$, GH^{BB}, $GDF9^{AA}$.

Keywords: biotechnology, genotyping, crossbred rams, allelic spectrum of genes, increasing breeding qualities, polymorphism, genetic structure

For citation: Ozdemirov A. A., Khozhokov A. A. Influence of genes on growth and development of the studied population of cross-breed sheep // *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 2, pp. 51–XX (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-51-59

Введение. В сфере животноводства особое значение приобретают исследования на уровне ДНК, необходимые для понимания происхождения пород, изучения их генетического многообразия и выявления уникальных особенностей различных популяций. Благодаря сочетанию традиционных и молекулярных методов селекции, включая использование генетических маркеров, ученым удается успешно анализировать генетический резерв и существенно улучшать эффективность в сфере животноводства. Такой подход является ключевым для защиты генетических ресурсов, создания новых и улучшения существующих пород домашних животных, а также для ускорения селекционной работы [1]. Исследования различных пород показывают неоднозначные результаты связи генетических вариантов, что может быть обусловлено сложным наследованием признаков. Продолжение подобных исследований поможет накопить данные о генах и использовать их для контроля генетического разнообразия и прогнозирования продуктивности [2].

С помощью генетических технологий возможно выявлять высокопродуктивных животных и их способность передавать эти качества потомству. Во многих странах генотипирование стало ключевым в селекционной работе. Однако в животноводстве использование ограниченного числа производителей и интенсивная селекция могут уменьшить генетическое разнообразие, что уже привело к утрате уникальных местных пород. Это также ведет к сокращению продолжительности жизни животных и увеличению случаев болезней. Важно сохранять генетическое разнообразие для адаптации животных к изменениям окружающей среды. Существуют разные подходы мониторинга генетического разнообразия, включая анализ микросателлитов, SNP и полных геномов, но не все они одинаково эффективны и доступны из-за стоимости и точности.

Важнейшим условием поддержания хозяйственной ценности популяций является изучение их генетической структуры [3]. Выявление ассоциаций вариантов генов с параметрами мясной продуктивности возможно при активном участии этих генов в формировании признаков мясошерстной продуктивности с последующим формированием тест-систем, необходимых в геномной селекции [4]. Дагестанская горная порода овец, так же как и ряд других районированных пород крупного и мелкого рогатого скота, в этом отношении изучена недостаточно [5–7].

Совершенствование хозяйственно полезных качеств у крупного и мелкого рогатого скота, создание генофонда позволит получать мясо улучшенного качества. Одной из наиболее ценных особенностей дагестанской горной породы овец является повышенный потенциал приспособляемости к суровым природно-климатическим и кормовым условиям, что определяет их высокую хозяйственную ценность. Использование геномной оценки в разведении крупного рогатого скота и овец значительно ускорит селекционный прогресс и улучшит эффективность отрасли.

Один производитель может дать тысячи потомков, оказывая значительное влияние на генетические особенности стада. Ген соматотропина (*GH*) играет ключевую роль в росте и развитии животных, а также влияет на производство молока и расщепление жиров. Его

полиморфизмы связаны с экономически ценными характеристиками, что делает его предметом особого внимания в селекции. В результате исследований, проведенных в последние годы [8], выявлено, что ключевой ген, отвечающий за продуцирование гормона роста у крупного рогатого скота, расположен на 19-й хромосоме. Структура этого гена включает пять экзонов и четыре интрона. Соматотропин, вырабатываемый этим геном, является центральным элементом в регулировании роста и развития у млекопитающих. Этот белок, однотипный для всех млекопитающих, представляет собой сложный пептид.

Гормон роста (*GH*), который принадлежит к группе производителей со схожими структурами, играет ключевую роль в стимуляции и поддержании процесса лактации у млекопитающих. Этот гормон характеризуется наличием от 190 до 199 аминокислот в цепочке, что подтверждается в исследованиях различных видов.

Было установлено, что изменения в гене, отвечающем за выработку соматотропина, коррелируют с повышенным содержанием жира [2]. Кроме того, отмечается рост уровня белка. Также выявлено, что в пятом экзоне гена происходит перестановка нуклеотидов с цитозина на гуанин. Это приводит к смене аминокислоты в белке: лейцин заменяется на валин на 127-й позиции. Некоторые исследователи зарегистрировали определенные генетические вариации, связанные с полезными сельскохозяйственными характеристиками у крупного рогатого скота, такими как рост, развитие и молочная продуктивность. Была отмечена важность полиморфизма гена *GH* в контексте этих признаков. В научной литературе упоминаются разные мутации этого гена, которые имеют значение для гормона роста. Исследования показали, что определенный генетический маркер – аллель *Mspl* (–) гена, отвечающего за производство соматотропина, оказывает значительное воздействие на содержание жира и белка в молоке у коров разных пород. Наличие этого аллеля у животных коррелирует с повышенной молочной продуктивностью и уменьшением количества соматических клеток в молоке, что является показателем его качества. Также было отмечено, что определенная мутация в генетике коров голштинской породы не ведет к изменениям в количестве жира в молоке. Однако выявлена корреляция между наличием аллеля *Mspl* (–) и повышенным уровнем белка в молоке, достигающим 3,1 %. Особенно высокий процент белка наблюдается у животных, у которых обе копии гена несут этот аллель. При этом объем производства молока и его жирность не показали заметной зависимости от генотипа *Mspl*. Проведенные исследования показали, что определенный генетический вариант (аллель *Mspl* (–)) в третьем интроне гена, отвечающий за производство соматотропного гормона, может служить индикатором высокого содержания белка в молоке [9]. В дополнение к этому была выявлена связь между различными формами этого же гена и качественными характеристиками мяса, что может быть полезно для селекционной работы в сфере животноводства.

Разнообразие полиморфных маркеров (SNP) позволяет классифицировать их по степени информативности. SNP, как наиболее часто встречающийся тип, играют важную роль в этой классификации, обеспечивая точечную характеристику генетических различий. В области селекционной работы животных использование генетических маркеров становится новым этапом развития. Ряд исследователей подчеркивают значимость этих технологий [10]. Отход от традиционных методов и фокусирование на генотипических особенностях скота несут существенные преимущества, при этом игнорируется изменчивость экономических и других внешних факторов. Продолжительное и эффективное использование сельскохозяйственных животных в хозяйствах – ключевой аспект, влияющий на доходность молочной отрасли. Это напрямую связано с жизненной продуктивностью животных, объемом и качеством потомства, которое они приносят. В результате это ведет к усовершенствованию стад, рас и популяций в целом.

Экономическая целесообразность в молочной отрасли тесно связана с продолжительностью эксплуатации поголовья. Приоритет отдается животным с увеличенным периодом продуктивности, что напрямую сказывается на уровне продуктивной отдачи и общей рентабельности фермерских хозяйств.

Анализ различных литературных источников подтверждает целесообразность более широкого использования ДНК-маркеров [11].

Методология и методы исследования. Пробы крови, взятые у помесей F2 маточного поголовья и баранов-производителей, были использованы для выделения ДНК при проведении генетических исследований.

Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) применялся при генотипировании помесей (F2) баранов-производителей. ПЦР осуществлялась с использованием специфических праймеров (табл. 1).

Таблица 1. **Характеристика аллельных вариантов**

Table 1. **Characteristics of allelic variants**

Нуклеотидные последовательности	Т отжига, °С	Генотипы	Амплификат, п. н.	Рестриктаза / замена нуклеотида
CAST				
F: 5′-tggggcccaatgacgccatcgatg-3′ R: 5′-ggtggagcacttctgatcacc-3′	62	*MM/MN/NN*	422	*MspI*
GH				
F: 5′-ggaggcaggaagggatgaa-3′ R: 5′-ccaagggagggagagacaga-3′	60	*AA/AB/BB*	277	*HaeIII*
GDF9				
F: 5′-gaagactggtatggggaaatg-3′ R: 5′-ccaatctgctcctacacacct-3′	63	*AA/AG/GG*	462	*BstHHI*

Термоциклер «Терцик» был использован для генотипирования генов, ассоциированных с такими показателями, как рост и развитие (*GH, GDF9, CAST*).

Место и объект проведения исследований. Проведение опытов с выборкой помесей для изучения селекционно значимых аллелей генов *GH, GDF9, CAST*, ассоциируемых с такими хозяйственно полезными показателями, как рост и развитие, были проведены в сельскохозяйственном кооперативе «Агрофирма «Согратль».

С целью выполнения вышеуказанных задач была отобрана опытная группа помесей (F2) баранов-производителей (n = 13). Генотипирование помесных (F2) баранов-производителей проводилось методом ПЦР в отношении генов *GDF9, CAST, GH*.

Выделение ДНК осуществлялось из проб крови опытного поголовья при помощи набора реагентов Diatom^{tm} DNA Prep. Проведение ПЦР выполнялось наборами Gene Pak PCR Core.

Число и длина фрагментов рестрикции в агарозном геле (2–4 %) при ультрафиолетовом свете были определены методом гель-электрофореза. При этом использовался стандартный набор M 50 (Gene Pak DNA Markers), являвшийся маркером молекулярных масс [6].

Определение частоты встречаемости генотипов проводилось по формуле

$$p = \frac{n}{N},$$

где p – частота того или иного генотипа; n – количество особей с определенным генотипом; N – общее количество особей.

Частоту встречаемости аллелей подсчитывали следующим образом:

$$P(A) = \frac{2N_1 + N_2}{2n},$$

где $P(A)$ – частота встречаемости аллели; N_1 – число гомозигот по изучаемому аллелю; N_2 – число гетерозигот по изучаемому аллелю; n – объем выборки.

При помощи стандартного набора формул осуществлялся генетико-статистический анализ.

Т а б л и ц а 2. Полиморфизм помесных баранов производителей (♂) II поколения в генах *CAST*, *GH*, *GDF9*

T a b l e 2. Polymorphism of crossbred rams (♂) of generation II in *CAST*, *GH* and *GDF9* genes

CAST			*GH*			*GDF9*		
MM	*MN*	*NN*	*AA*	*AB*	*BB*	*AA*	*AG*	*GG*
–	–	*NN*	–	*AB*	–	–	*AG*	–
–	*MN*	–	*AA*	–	–	–	*AG*	–
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	*AA*	–	–
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	*AA*	–	–
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	*AA*	–	–
MM	–	–	*AA*	–	–	–	*AG*	–
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	–	*AB*	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	–	–	*GG*
MM	–	–	*AA*	–	–	*AA*	–	–
MM	–	–	–	*AB*	–	–	–	*GG*

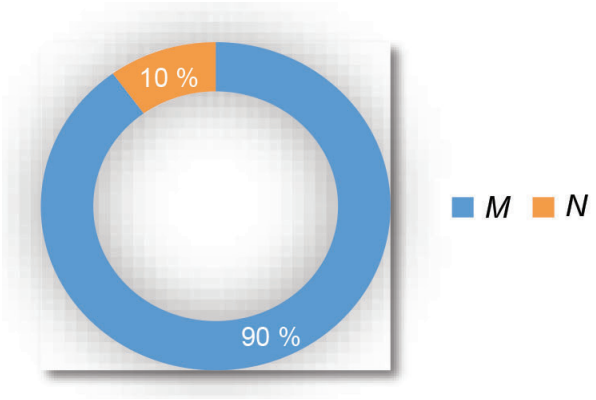


Рис. 1. Распределение аллелей гена *CAST* у помесей F2

Fig. 1. Distribution of *CAST* gene alleles in F2 crosses

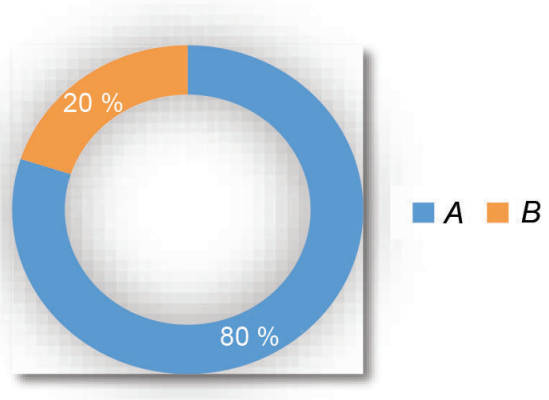


Рис. 2. Распределение аллелей гена *GH* у помесей F2

Fig. 2. Distribution of *GH* gene alleles in F2 crosses

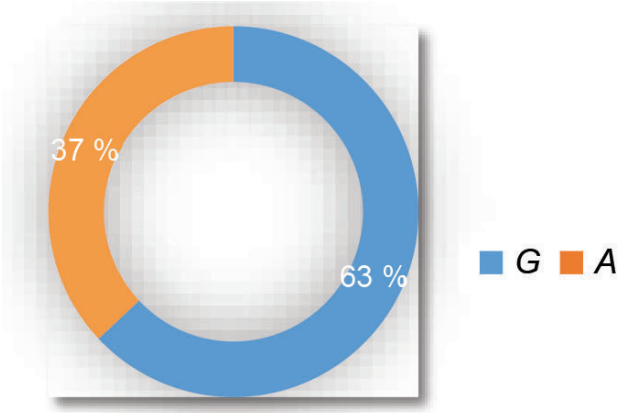


Рис. 3. Распределение аллелей гена *GDF9* у помесей F2

Fig. 3. Distribution of *GDF9* gene alleles in F2 crosses

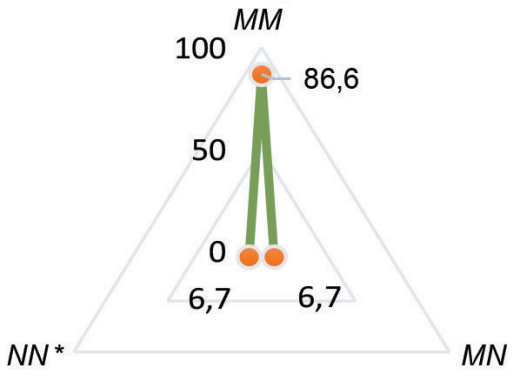


Рис. 4. Распределение генотипов гена *CAST* у помесей F2

Fig. 4. Distribution of *CAST* gene genotypes in F2 crosses

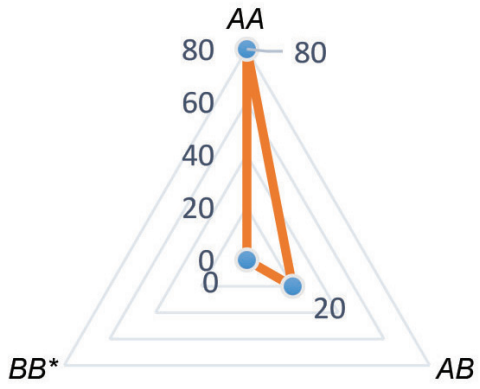


Рис. 5. Распределение генотипов гена *GH* у помесей F2

Fig. 5. Distribution of *GH* gene genotypes in F2 crosses

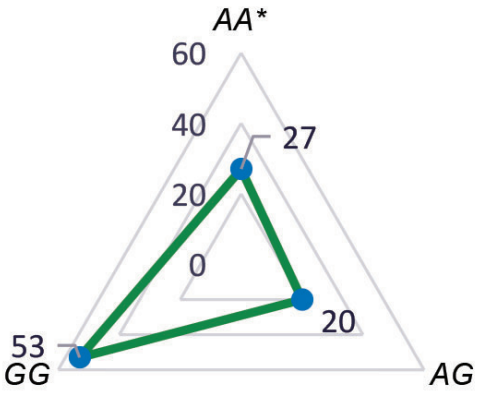


Рис. 6. Распределение генотипов гена *GDF9* у помесей F2

Fig. 6. Distribution of *GDF9* gene genotypes in F2 crosses

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты проведенных исследований по изучению полиморфизма помесей F2 баранов-производителей приведены в табл. 2.

При анализе результатов генотипирования исследуемого помесного поголовья II поколения можно наблюдать участие по паре аллелей в исследуемых генах: *CAST* аллели $CAST^{M}$ и $CAST^{N}$ (рис. 1); *GH* – аллели GH^{A} и GH^{B} (рис. 2); *GDF9* – аллели $GDF9^{A}$ и $GDF9^{G}$ (рис. 3) с разной частотой встречаемости.

Полиморфизм гена *CAST* представлен аллелью *M* с высокой (0,9) и аллелью *N* с низкой (0,1) частотой встречаемости. Гомозиготные генотипы $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$, а также гетерозиготный $CAST^{MN}$ распределились в следующем соотношении: 86,6; 6,7; 6,7 % соответственно (рис. 4). (На рис. 4, 5, 6 *NN*, BB*, AA** – селекционно значимые генотипы.)

Своеобразие аллельного спектра гена *GH*, представленного двумя аллелями и двумя генотипами – GH^{A} и GH^{B}, GH^{AA} и GH^{AB} (рис. 5), выразилось в менее высокой частоте встречаемости аллеля GH^{A}, генотипа GH^{AA} (0,8 и 80 % соответственно).

В исследуемой выборке при изучении полиморфизма локуса гена *GDF9*/*BstHH1* было определено, что частота встречаемости аллеля $GDF9^{G}$ в 1,7 раза выше по сравнению с частотой встречаемости аллеля $GDF9^{A}$ (0,37).

Выявленная закономерность стала основой присутствия высокой (53 %) частоты встречаемости гомозиготного генотипа $GDF9^{GG}$ (рис. 6) и низкой частоты встречаемости гетерозиготного генотипа $GDF9^{AG}$ (20 %), частота встречаемости монозиготного генотипа $GDF9^{AA}$ составила 27,0 %. Наряду с этим, была изучена генетическая структура помесей F2 (табл. 3).

Таблица 3. **Генетическая структура помесей II поколения (♂)**

Table 3. **Genetic structure of crossbreeds of generation II (♂)**

Показатель	Гетерозиготы (*n*)	Гомозиготы (*n*)	Hobs*	Hex**	χ^2	Ca, %	Na	V, %	ТГ
GDF9	3	12	0,25	0,87	4,81	53,4	1,87	46,6	–0,62 Ф < Т
	3	12	0,25	0,87	4,81	53,4	1,87	46,6	–0,62 Ф < Т
CAST	1	14	0,07	0,22	7,73	82	1,22	18	–0,13 Ф < Т
	1	14	0,07	0,22	7,73	82	1,22	18	–0,13 Ф < Т
GH	3	12	0,25	0,22	0,18	82	1,22	18	0,03 Ф > Т
	3	12	0,25	0,22	0,18	82	1,22	18	0,03 Ф > Т

* Наблюдаемая гетерозиготность; ** ожидаемая гетерозиготность.

* Observed heterozygosity; ** expected heterozygosity.

Проведенные расчеты по структуре исследуемых генов показали, что гомо- и гетерозиготность по гену *GDF9* у баранов-производителей распределилась в процентном отношении как 20,0 и 80,0 %. Ген *CAST* имел следующие значения: 6,7 % гетерозигот и 93,3 % гомозигот. У гена *GH* эти показатели варьировали в пределах 20,0 и 80,0 % соответственно.

Показатель наблюдаемой гетерозиготности у баранов-производителей сохранил идентичность по генам *GH* и *GDF9* и составил 0,25, что превышает этот показатель в отношении гена *CAST* на 72 %.

Расчет ожидаемой гетерозиготности у баранов-производителей показал идентичные значения по генам *GH* и *CAST* – 0,22 и значительно большие значение (на 74,7 %) по гену *GDF9.*

При анализе значения показателя – коэффициента парной корреляции (χ^2), необходимого для наглядности селективного различия в отношении исследуемых генотипов, приходим к выводу, что генетическая корреляция в отношении гена *GH* была положительной (0,22).

В отношении степени гомозиготности значения коэффициента Са выглядели следующим образом: у гена *GDF9* – 53,4, причем у генов *CAST* и *GH* данный коэффициент был практически схожим (82 %).

Показатель степени генетической изменчивости в популяции баранов-производителей – V-коффициент – был наиболее высоким у гена *GDF9* – 46 %. Гены *CAST* и *GH* имели одинаковые значения степени генетической изменчивости – 18 %.

Отрицательное значение теста гетерозиготности (ТГ) у баранов-производителей в генах *GDF9* и *CAST* (–0,62 и –0,13 соответственно) свидетельствует о недостатке гетерозигот. У гена *GH* этот показатель был положительным и составил 0,03.

Заключение. 1. Исследования показали, что в изученной выборке животных генетический состав по генам *CAST* и *GDF9* уравновешен, что указывает на малую вероятность его изменений под воздействием внешних факторов. Даже активный и долгосрочный процесс отбора не ведет к сдвигу в распределении аллельных частот. Благодаря этому в породах сохраняется определенный уровень гетерозиготности, что способствует поддержанию генетической изменчивости. Таким образом, даже выраженная направленность на разведение мясных пород со специфическими характеристиками, включая те, что разводят в Дагестане, не влечет за собой значительного сокращения генетического многообразия в пределах популяции и не уменьшает их адаптационных возможностей, по крайней мере в контексте изученных генов *CAST* и *GDF9.*

2. Проведенный анализ по результатам генотипирования в исследуемом помесном поголовье баранов-производителей свидетельствует о наличии полиморфизма в изучаемых генах, контролирующих рост и развитие, который представлен двумя аллелями каждого из изученных генов: *GDF9* – аллелями $GDF9^A$ и $GDF9^G$; *CAST* – аллелями $CAST^M$ и $CAST^N$; *GH* – аллелями GH^A и GH^B с разной частотой встречаемости. Анализ структуры исследуемых генов выявил селекционно значимые генотипы для целенаправленного отбора. В выборке изу-

ченного помесного скота второго поколения такими генотипами являются $CAST^{NN}$, GH^{BB}, $GDF9^{AA}$. При анализе коэффициента парной корреляции (χ^2), необходимого для наглядности селективного различия в отношении исследуемых генотипов, выявлено, что генетическая корреляция в отношении гена *GH* была положительной (0,22). Отрицательное значение теста гетерозиготности у баранов-производителей в генах *GDF9* и *CAST* (–0,62 и –0,13 соответственно) свидетельствует о генном равновесии в популяции. У гена *GH* этот показатель был положительным и составил 0,03.

3. Проведенные исследования по генотипированию генов *GDF9*, *CAST* и *GH* у баранов-производителей поколения F2 дают основания сделать вывод о целесообразности дальнейшей работы по созданию нового типа, получаемого в результате скрещивания овец дагестанской горной породы.

Список использованных источников

1. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры российских пород крупного рогатого скота с использованием полигеномного анализа SNP / Н. А. Зиновьева, А. В. Доцев, А. А. Сермягин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 6. – С. 788–800. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.788rus

2. Генетическая структура казахской белоголовой породы крупного рогатого скота по генам молочных белков и гормонов и их связь с энергией роста молодняка / Г. М. Гончаренко, Н. Б. Гришина, Т. С. Хорошилова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 61–64. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10512

3. Харламов, А. В. Повышение эффективности геномной селекции молочного скота / А. В. Харламов, В. А. Панин, В. И. Косилов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (77). – С. 256–259.

4. Eusebi, P. G. Genomic tools for effective conservation of livestock breed diversity / P. G. Eusebi, A. Martinez, O. Cortes // Diversity. – 2020. – Vol. 12, № 1. – Art. 8. https://doi.org/10.3390/d12010008

5. Районированная порода овец Дагестана / А. А. Оздемиров, Р. А. Акаева, П. О. Алиева [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 4. – С. 67–69. https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/67-69

6. Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* овец Дагестанской горной породы / А. А. Оздемиров, Л. Н. Чижова, А. А. Хожоков [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2021. – Т. 16, № 2 (59). – С. 39–44. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44

7. Investigation of the genetic diversity of Dagestan mountain cattle using STR-markers / V. V. Volkova, A. S. Abdelmanova, T. E. Deniskova [et al.] // Diversity. – 2022. – Vol. 14, № 7. – Art. 569. https://doi.org/10.3390/d14070569

8. Влияние полиморфизма гена лептина (LEP) на молочную и мясную продуктивность коров-первотелок голштинской породы / Э. Р. Гайнутдинова, Н. Ю. Сафина, Ш. К. Шакиров, М. И. Варламова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2021. – Т. 245, № 1. – С. 24–28. https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28

9. Interior circular RNA / X. Liu, Z. Hu, J. Zhou [et al.] // RNA Biology. – 2020. – Vol. 17, № 1. – P. 87–97. https://doi.org/10.1080/15476286.2019.1669391

10. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian cattle breeds revealed by microsatellite analysis / A. S. Abdelmanova, V. R. Kharzinova, V. V. Volkova [et al.] // Genes. – 2020. – Vol. 11, № 8. – Art. 940. https://doi.org/10.3390/genes11080940

11. Cortes, O. Applications of microsatellites and single nucleotide polymorphisms for the genetic characterization of cattle and small ruminants: an overview / O. Cortes, J. Cañon, L. T. Gama // Ruminants. – 2022. – Vol. 2, № 4. – P. 456–470. https://doi.org/10.3390/ruminants2040032

References

1. Zinovieva N. A., Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Wimmers K., Reyer H., Sölkner J., Deniskova T. E., Brem G. Study of genetic diversity and population structure of five Russian cattle breeds using whole-genome SNP analysis. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 6, pp. 788–800 (in Russian). https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.788rus

2. Goncharenko G. M., Grishina N. B., Khoroshilova T. S., Kochnev N. N., Unzhakova A. A. Genetic structure of Kazakh white-headed cattle by the genes of milk proteins and hormones and their relationship with the growing energy of young animals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 5, pp. 61–64 (in Russian). https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10512

3. Kharlamov A. V., Panin V. A., Kosilov V. V. Improving the effectiveness of genomic breeding of dairy cattle. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2019, no. 3 (77), pp. 256–259 (in Russian).

4. Eusebi P. G., Martinez A., Cortes O. Genomic tools for effective conservation of livestock breed diversity. *Diversity*, 2020, vol. 12, no. 1, art. 8. https://doi.org//10.3390/d12010008

5. Ozdemirov A. A., Akaeva R. A., Alieva P. O., Alieva E. M., Gamzatova S. K., Guseynova Z. M., Daveteeva M. A. An area-specific breed of sheeps of Dagestan. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki = Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 2021, no. 4, pp. 67–69 (in Russian). https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/67-69

6. Ozdemirov A. A., Chizhova L. N., Khozhokov A. A., Surzhikova E. S., Dogeev G. D., Abdulmagomedov S. Sh. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: Ecology, Development*, 2021, vol. 16, no. 2 (59), pp. 39–44 (in Russian). https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44

7. Volkova V. V., Abdelmanova A. S., Deniskova T. E., Romanenkova O. S., Khozhokov A. A., Ozdemirov A. A., Sermyagin A. A., Zinovieva N. A. Investigation of the genetic diversity of Dagestan mountain cattle using STR-markers. *Diversity*, 2022, vol. 14, no. 7, art. 569. https://doi.org/10.3390/d14070569

8. Gaynutdinova E. R., Safina N. Yu., Shakirov Sh. K., Varlamova M. I. Influence of leptin (LEP) gene polymorphism on dairy and meat productivity of Holstein heifers. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana = Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2021, vol. 245, no. 1, pp. 24–28 (in Russian). https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28

9. Liu X., Hu Z., Zhou J., Tian C., Tian G., He M., Gao L., Chen L., Li T., Peng H., Zhang W. Interior circular RNA. *RNA Biology*, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 87–97. https://doi.org/10.1080/15476286.2019.1669391

10. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Mishina A. I., Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Boronetskaya O. I., Petrikeeva L. V., Chinarov R. Yu., Brem G., Zinovieva N. A. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian cattle breeds revealed by microsatellite analysis. *Genes*, 2020, vol. 11, no. 8, art. 940. https://doi.org/10.3390/genes11080940

11. Cortes O., Cañon J., Gama L. T. Applications of microsatellites and single nucleotide polymorphisms for the genetic characterization of cattle and small ruminants: an overview. *Ruminants*, 2022, vol. 2, no. 4, pp. 456–470. https://doi.org/10.3390/ruminants2040032

Информация об авторах

Алимсолтан Ахмедович Оздемиров – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан (ул. Абдуразака Шахбанова, 30, 367014, Республика Дагестан, Махачкала, Российская Федерация). orcid.org/0000-0003-2150-2192. AuthorID: 676288. E-mail: alim72@mail.ru

Абдусалам Асадулаевич Хожоков – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом животноводства, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан (ул. Абдуразака Шахбанова, 30, 367014, Республика Дагестан, Махачкала, Российская Федерация). orcid.org/0000-0002-7303-0222. AuthorID: 467112. E-mail: niva1956@mail.ru

Information about the authors

Alimsoltan A. Ozdemirov – Ph. D. (Biology), Head of the Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan (30, Abdurazakh Shakhabanov St., 367014, Republic of Dagestan, Makhachkala, Russian Federation). orcid.org/0000-0003-2150-2192. AuthorID: 676288. E-mail: alim72@mail.ru

Abdusalam A. Khozhokov – Ph. D. (Agriculture), Head of the Animal Husbandry Department, Federal Agrarian Scientific Center, Republic of Dagestan (30, Abdurazak Shakhbanova St., 367014, Republic of Dagestan, Makhachkala, Russian Federation). orcid.org/0000-0002-7303-0222. AuthorID: 467112. E-mail: niva1956@mail.ru

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

МЕХАНІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

УДК 634.739.2:581.045:631.559
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-154-164

Поступила в редакцию 12.02.2025
Received 12.02.2025

В. В. Азаренко[1], В. Л. Мисун[2], А. Л. Мисун[2]

[1]Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КРУПНОПЛОДНОЙ КЛЮКВЫ В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Аннотация. Выполнен анализ влияния наиболее существенных природно-климатических и иных факторов (уровень почвенной влаги в периоды активного роста зеленой массы, появления завязей растений, созревания ягод; воздействие возвратных весенних заморозков; качество внесения минеральных удобрений; химическая защита растений на чеках от сорняков, вредителей, болезней) на эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы в условиях изменяющихся параметров производственной среды. На основе логико-лингвистического подхода разработана математическая модель влияния рассматриваемых факторов на потенциальную биологическую урожайность ягод в условиях изменяющегося состояния производственной среды. Определено, что важнейшее значение для эффективного функционирования промышленных клюквенных чеков имеет фактор «химическая защита растений». Установлено, что в условиях выполнения требуемых показателей водно-воздушного и теплового режимов почвы на чеках при несоблюдении агросроков, нарушении дозы и показателей равномерности внесения химических средств защиты растений и минеральных удобрений потери ягод могут составлять свыше 30 % от урожайности.

Ключевые слова: контролируемая производственная среда, клюквенный чек, моделирование, природно-климатические факторы

Для цитирования: Азаренко, В. В. Моделирование влияния природно-климатических и агрохимических факторов на эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы в условиях контролируемой производственной среды / В. В. Азаренко, В. Л. Мисун, А. Л. Мисун // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 154–164. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-154-164

Vladimir V. Azarenko[1], Vladimir L. Misun[2], Aleksey L. Misun[2]

[1]Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus
[2]Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

SIMULATION OF INFLUENCE OF NATURAL AND CLIMATIC AND AGROCHEMICAL FACTORS ON EFFICIENCY AND SAFETY OF INDUSTRIAL CULTIVATION OF LARGE-FRUIT CRANBERRY IN CONTROLLED PRODUCTION ENVIRONMENT

Abstract. The analysis of influence of the most significant natural-and-climatic and other factors (the level of soil moisture during periods of active growth of green mass, emergence of sets, berry ripening; the impact of return spring frosts; the quality of mineral fertilizers application; chemical protection of plants on checks from weeds, pests and diseases) on the efficiency and safety of industrial cultivation of large-fruited cranberries in the conditions of changing parameters of the production environment has been carried out. On the basis of logical-and-linguistic approach, a mathematical model of influence of the considered factors on potential biological yield of berries in conditions of changing

© Азаренко В. В., Мисун В. Л., Мисун А. Л., 2025

state of industrial environment has been developed. It has been determined that the most important for the effective functioning of industrial cranberry checks is the factor of “chemical protection of plants”. It has been established that under conditions of meeting the required indicators of water-and-air and thermal modes of soil on the checks in case of non-observance of agro-timing, violation of dosage and uniformity indicators of chemical plant protection products and mineral fertilizers application, the losses of berries can make over 30 % of the yield.

Keywords: controlled production environment, cranberry check, simulation, natural and climatic factors

For citation: Azarenko V. V., Misun V. L., Misun A. L. Simulation of influence of natural and climatic and agrochemical factors on efficiency and safety of industrial cultivation of large-fruit cranberry in controlled production environment. *Vestsi Natsyyanal’nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 2, pp. 154–164 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-154-164

Введение. В результате проведенных исследований [1–5] установлено, что нарушение водно-воздушного режима почвы на клюквенном чеке и резкие отклонения режимов от оптимума в сторону уменьшения или увеличения приводят к существенному снижению продуктивности, включая все составляющие элементы – корни, листья, стебли, плоды. Регулирование водно-воздушного режима почвы на промышленных плантациях крупноплодной клюквы осуществляется путем изменения уровня состояния грунтовых вод во внутричековом обводном канале и применения дождеваний [6]. Наиболее эффективно поддержание влажности активного, корнеобитаемого слоя почвы в пределах 60–70 % от полной водоемкости [7]. Такие условия создаются при средних уровнях грунтовых вод (40–50 см) от поверхностной отметки [7].

Важнейшим фактором успешного выращивания крупноплодной клюквы является и создание надежных мер защиты растений от повреждения низкими температурами. Для предотвращения вымерзания и повреждения крупноплодной клюквы на промышленных плантациях в бесснежные или малоснежные зимы используют затопление плантации (чеков) и послойное вмораживание растений в лед[1]. Вмораживание рекомендуется начинать при снижении среднесуточной температуры ниже –4 °С и промерзании почвы на глубину 3–4 см. На чек подается вода до получения 1,5–2,0 см слоя и оставляется до замерзания. Затем подача воды возобновляется, и так до тех пор, пока верхушки растений не покроются слоем льда в 2–3 см [7]. Эффективным способом защиты растений при снижении температуры воздуха ночью до 2 °С является дождевание с интенсивностью 0,04–0,06 мм/мин [7]. Температура воздуха, при которой включается дождевальная система[2] при угрозе заморозка, зависит от ряда факторов: влажности воздуха, облачности, скорости ветра и др. Регулирование теплового режима на клюквенных чеках проводится и в летнее время, когда температура воздуха поднимается выше 25 °С. Оно осуществляется через дождевальную систему с интенсивностью 5–10 мм/мин [7].

Рядом исследований доказано [1, 8], что оптимизацией питания за счет состава, количества и соотношения питательных веществ урожай ягод можно увеличить в несколько раз. Регуляция роста и развития растений осуществляется в основном за счет применения азотных, фосфорных и калийных удобрений. Также вносятся в небольших количествах микроэлементы, чтобы удовлетворять потребности растений и способствовать эффективному усвоению минерального питания. Что касается обработки посадок растений крупноплодной клюквы на промышленном чеке гербицидами, то она приурочивается ко времени, когда сорняки на чеке достигают высоты 10–15 см [7] и имеют хорошо развитую листовую поверхность, что обеспечивает их контакт с раствором гербицида. Препараты применяют методом смазывания сорняков, располагающихся над ярусом крупноплодной клюквы [9–11]. Необходимо при этом исключить всякую возможность попадания раствора гербицида на

[1] Проектирование производственных плантаций клюквы крупноплодной: пособие к СНиП 2.06.03–85 «Мелиоративные системы и сооружения. Минск: Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиор. и луговодства, 1991. 37 с.

[2] Там же.

растения крупноплодной клюквы, чтобы не вызвать их повреждения и гибели. Обработка растений фунгицидами проводится в ранневесенний и поздневесенний периоды. Во время же вегетации – в исключительных случаях (при эпифитотиях) [7]. При вспышке массового размножения вредителей и реальной угрозе нанесения ими существенного ущерба плодоносящей плантации применяются и инсектициды.

Методы исследований. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены с применением методов экспертной оценки, математической статистики и планирования эксперимента. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием стандартных пакетов прикладных программ (Statistica 6, Matlab 6 и др.).

Результаты и их обсуждение. Для моделирования процесса в качестве выходного параметра принималась максимальная биологическая урожайность крупноплодной клюквы с учетом почвенно-климатических и агрохимических факторов выращивания на промышленном клюквенном чеке в условиях изменяющейся производственной среды (рис. 1).

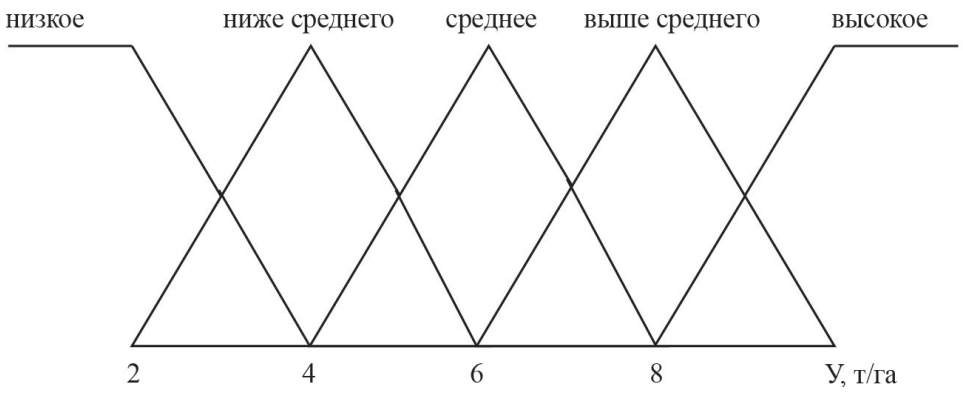


Рис. 1. Урожайность крупноплодной клюквы с одного гектара (чека) убираемой площади (У) как лингвистическая переменная

Fig. 1. Yield of large-fruited cranberries per hectare (check) of harvested area (У) as a linguistic variable

По результатам опроса экспертов из большого числа потенциально возможных было выбрано четыре фактора, в большей степени влияющих на урожайность крупноплодный клюквы на чеке. Факторы, согласно алгоритму построения логико-лингвистических моделей, могут быть представлены в виде лингвистических переменных [12]. Каждую из переменных сопровождают таблицы лингвистического (вербального, неколичественного) описания признаков для последующего их перевода в количественный вид [12]. Поскольку описываемые явления носят нечеткий (размытый, неопределенный) характер, то количественная оценка задается не одним числом, а интервалом. В результате исследований выделены следующие факторы, определяющие эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы [1, 8, 13]:

X_1 – уровень почвенной влаги на чеке, качественный показатель. Определяется влажностью почвы в слове 0–50 см в определенные фазы развития растений: в периоды активного роста зеленой массы и появления завязей (конец июня – начало июля), созревания ягод (конец сентября);

X_2 – степень негативного воздействия возвратных весенних заморозков, качественный показатель. Определяется следующими критериями: температурой и влажностью воздуха в предутренние часы, наступлением заморозков в период цветения и (или) образования завязей, скоростью ветра;

X_3 – эффективность внесения минеральных удобрений, качественный показатель. Определяется следующими критериями: типом минеральных удобрений (вид удобрения,

микроэлементов), нормой их внесения; соблюдением агросроков внесения (дата начала и длительность работ); качеством внесения (отклонение нормы внесения от заданной, неравномерность распределения минеральных удобрений по площади);

X_4 – эффективность и безопасность защитных мероприятий для растений от сорняков, вредителей и болезней (химическая защита растений), качественный показатель. Определяется следующими критериями[1] [10]: правильный выбор препарата, дозы внесения; соблюдение агросроков (достаточное количество, своевременность защитного мероприятия); качество проведения защитных мероприятий (отклонение дозы внесения от заданной, неравномерность распределения препарата по площади).

Все лингвистические переменные факторного пространства при определении влияния на урожайность крупноплодной клюквы качественные, их вид приведен на рис. 2.

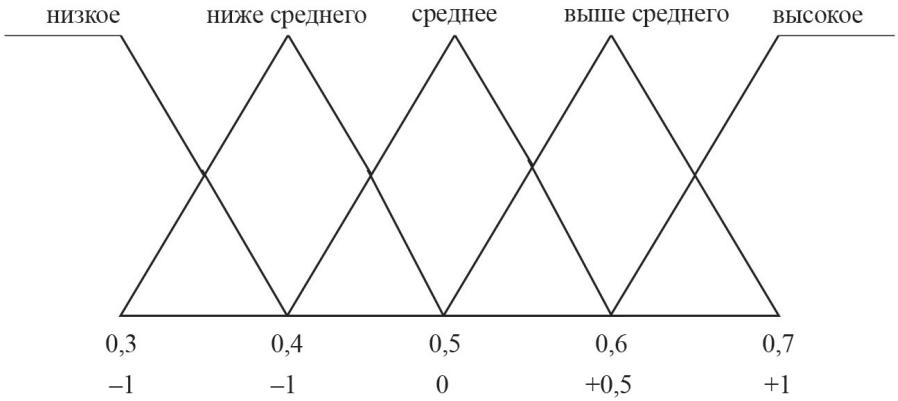


Рис. 2. Факторное пространство в кодированном виде при определении влияния на урожайность крупноплодной клюквы

Fig. 2. Factor space in encoded form when determining the effect on the yield of large-fruited cranberries

Для проведения исследований составлено табличное описание в кодированном и лингвистическом виде для всех факторов, определяющих эффективность и безопасность рассматриваемого процесса [14]. В качестве примера в табл. 1 приведено кодированное и лингвистическое описание фактора X_1.

Таблица 1. **Кодированное и лингвистическое описание фактора X_1 – уровень почвенной влаги на промышленном клюквенном чеке**

Table 1. **Coded and linguistic description of factor X_1 – soil moisture level on an industrial cranberry field**

Границы урожайности участка	Вербальная оценка урожайности ягод	Мода интервала	Косвенные признаки изменения состояния почвенной влаги на промышленном клюквенном чеке [7]
Высокая урожайность (9 т/га и выше)	В	0,7	Влажность активного, корнеобитаемого слоя почвы поддерживается в пределах 60–70 % от полной влагоемкости. Средний уровень грунтовых вод (40–50 см) от поверхностной отметки обеспечивается. Проводятся через дождевальную установку двукратные охладительные поливы при влажности воздуха ниже 50 %. Соблюдается норма расхода воды (100–150 м³/га) при каждом поливе

[1] Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия / Всерос. науч.-исслед. ин-т механизации сел. хоз-ва (ФГБНУ ВИМ); разраб.: А. Ю. Измайлов [и др.]; под общ. ред. А. А. Артюшина. М.: ВИМ, 2016. 99 с.

Окончание табл. 1

Границы урожайности участка	Вербальная оценка урожайности ягод	Мода интервала	Косвенные признаки изменения состояния почвенной влаги на промышленном клюквенном чеке [7]
Урожайность выше средней (7…9 т/га)	ВС	0,6	Поддерживается на требуемом уровне влажность активного корнеобитаемого слоя почвы и уровень грунтовых вод. Проводятся двукратные охладительные поливы при влажности воздуха ниже 50 %, но не соблюдается норма расхода воды при каждом поливе. Возможно снижение урожайности до 5 %
Средняя урожайность (5…7 т/га)	С	0,5	Поддерживается на требуемом уровне влажность активного корнеобитаемого слоя почвы и уровень грунтовых вод, но охладительные поливы проводятся не по регламенту, не соблюдается норма расхода воды при поливах. Снижение урожайности на 5–10 %
Урожайность ниже средней (3…5 т/га)	НС	0,4	Уровень влажности активного корнеобитаемого слоя почвы и уровень грунтовых вод на промышленном клюквенном чеке не всегда контролируются. Охладительные поливы выполняются с нарушением регламента. Снижение урожайности на 10–15 %
Низкая урожайность (3 т/га и ниже)	Н	0,3	Уровень влажности активного корнеобитаемого слоя почвы, уровень грунтовых вод на чеке, а также охладительные поливы не контролировались или выполнялись работы по их контролю без соблюдения требований и с нарушением регламента. Снижение урожайности на 15–25 %

Для оценки значимости влияния каждого из рассматриваемых факторов на реализацию потенциальной биологической урожайности крупноплодной клюквы проведен опрос экспертов. Необходимое количество экспертов (m) определялось по следующей формуле [15]:

$$m = \frac{\chi^2_{\beta;(n-1)}}{(\delta+1)(n-1)\cdot W_o}, \quad (1)$$

где $\chi^2_{\beta;(n-1)}$ – квантиль распределения, соответствующий доверительной вероятности β и числу степеней свободы (n – 1); n – число оцениваемых факторов (n = 4); δ – заданная точность результатов исследований (δ = 0,950); W_o – критическое значение коэффициента конкордации (W_o = 0,100).

Подставив значения показателей $\chi^2_{\beta;(n-1)}$ [12], δ, n и W_o в формулу (1), получим m, равное четырем экспертам.

Для проведения исследований был выбран план факторного эксперимента типа $N = 2^n$, где N – число опытов. Каждая строка опросной матрицы (табл. 2) представляет собой продукционное правило импликативного типа «если… , то…». Так, если уровень почвенной влаги на клюквенном чеке высокий (X_1 = +1), воздействие возвратных весенних заморозков отсутствует, то есть уровень защиты растений от заморозков на чеке высокий (X_2 = +1), эффективность внесения минеральных удобрений высокая (X_3 = +1), химическая защита растений проводится на «высоком» уровне (X_4 = +1), то среднее значение обобщенного показателя урожайности ягод с одного гектара промышленной плантации (У) высокое (В) и составляет 11,50 т/га.

Таблица 2. **Опросная матрица с оценками экспертов**

Table 2. **Survey matrix with expert ratings**

№ опыта	Факторы				Урожайность (У), т/га							
	Уровень почвенной влаги	Воздействие возвратных весенних заморозков	Эффективность внесения минеральных удобрений	Химическая защита растений	Вербальная оценка эксперта	Числовая оценка эксперта				Результаты эксперимента		
	X_1	X_2	X_3	X_4	$У_э$	$У_{1j}$	$У_{2j}$	$У_{3j}$	$У_{4j}$	$\overline{У_j}$	S_j^2	$У_j^р$
1	+1	+1	+1	+1	В	11,25	11,50	11,50	11,75	11,50	0,0083	10,76
2	+1	+1	+1	–1	ВС	7,75	7,50	7,50	8,00	7,68	0,0115	6,87
3	+1	+1	–1	–1	С	6,25	6,00	6,25	6,00	6,12	0,0042	5,97
4	+1	–1	–1	–1	Н–НС	3,00	3,25	3,25	3,00	3,12	0,0042	2,49
5	–1	–1	–1	–1	Н	0,75	1,00	1,00	0,75	0,87	0,0042	1,09
6	+1	–1	+1	+1	ВС	8,50	8,75	8,75	8,50	8,62	0,0042	9,17
7	+1	–1	–1	+1	С–ВС	6,50	6,75	6,75	7,00	6,75	0,0083	6,05
8	+1	–1	+1	–1	С	5,75	5,75	6,25	6,00	5,94	0,0115	6,59
9	+1	+1	–1	+1	ВС–В	9,00	9,50	9,50	9,25	9,31	0,0115	10,01
10	–1	+1	+1	+1	ВС–В	9,50	9,75	9,50	9,50	9,56	0,0031	10,48
11	–1	–1	+1	+1	С–ВС	7,00	7,25	7,00	7,25	7,12	0,0042	6,28
12	–1	–1	–1	+1	НС	5,50	5,75	5,25	5,50	5,50	0,0083	6,09
13	–1	+1	–1	–1	НС	4,50	4,25	4,25	4,75	4,43	0,0022	3,69
14	–1	+1	–1	+1	С–ВС	7,50	7,25	7,25	7,50	7,37	0,0042	7,16
15	–1	+1	+1	–1	С	6,75	6,50	7,00	7,00	6,81	0,0115	7,51
16	–1	–1	+1	–1	Н–НС	3,25	3,50	3,25	3,25	3,31	0,0031	2,54
										$\sum_{j=1}^{N} \overline{У_j} = 104{,}01$	$\sum_{j=1}^{N} S_j^2 = 0{,}1045$	$\sum_{j=1}^{N} У_j^р = 102{,}75$

Для математического описания рассматриваемого процесса целесообразно использовать выражение следующего вида:

$$У = a_о + \sum_{i=1}^{N} a_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i<r}}^{N} a_{ir} X_i X_r + \sum_{\substack{i=1 \\ i<r \\ r<s}}^{N} a_{irs} X_i X_r X_s, \quad (2)$$

где $a_о \ldots a_{irs}$ – коэффициенты выражения.

Статистическая обработка результатов экспертного оценивания позволила установить следующее:

а) дисперсии всех опытов в данном эксперименте с доверительной вероятностью 95 % однородны, так как экспериментальное значение критерия Кохрена меньше критического значения $G_э < G_{n-1;0,95}$ [16]:

$$G_э = \frac{S^2_{j\max}}{\sum S^2_j} = \frac{0,0115}{0,1045} = 0,1100, \quad G_{3;16;0,95} = 0,2647;$$

б) так как дисперсии всех опытов однородны, то дисперсия воспроизводимости рассчитывается по формуле [17]

$$S^2_{воспр} = \frac{\sum_{j=1}^{N} S^2_j}{N} = \frac{0,1045}{16} = 0,0065;$$

в) коэффициенты выражения (2)

$$a_о = \frac{\sum_{j=1}^{N} \overline{У_j}}{N}, \quad (3)$$

$$a_i = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_{ij} \cdot \overline{У_j}}{N}, \quad i = 1;\ 2;\ 3,\ \ldots,\ N; \quad (4)$$

$$a_{ir} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i<r}}^{N} X_{ij} \cdot X_{rj} \cdot \overline{У_j}}{N}, \quad i,\ r = 1;\ 2;\ 3,\ \ldots,\ N; \quad (5)$$

$$a_{irs} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i<r \\ r<s}}^{N} X_{ij} \cdot X_{rj} \cdot X_{sj} \cdot \overline{Y_j}}{N}, \quad i,\ r,\ s = 1;\ 2;\ 3,\ \ldots,\ N \quad (6)$$

соответственно равны: a_0 = 6,501; a_1 = 0,879; a_2 = 1,347; a_3 = 1,067; a_4 = 1,716; a_{12} = –0,074; a_{13} = –0,012; a_{14} = –0,051; a_{23} = –0,027; a_{24} = –0,128; a_{34} = – 0,083; a_{123} = – 0,981; a_{124} = 0,216; a_{234} = = 0,138.

Обработка результатов экспертного оценивания по методике А. В. Спесивцева [18, 19], согласно которой в подобных исследованиях учитываются только значимо отличающиеся от нуля коэффициенты, а все независимые переменные представлены в стандартизированном масштабе, позволила получить следующую полиномиальную модель:

$$\begin{aligned} У = 6{,}501 + 0{,}879 \cdot X_1 + 1{,}347 \cdot X_2 + 1{,}067 \cdot X_3 + 1{,}716 \cdot X_4 - 0{,}128 \cdot X_2 \cdot X_4 - \\ - 0{,}981 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0{,}216 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0{,}138 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4. \end{aligned} \quad (7)$$

Адекватность полученного выражения (7) экспериментальным данным проверяли по неравенству [16]

$$F_{\text{р}} < F_q(f_1, f_2), \quad (8)$$

где $F_{\text{р}} = \dfrac{S^2_{\text{воспр}}}{S^2_{\text{ад}}}$ – расчетное значение F – критерия Фишера; f_1, f_2 – число степеней свободы ($f_1 = 3; f_2 = 16$); $S^2_{\text{ад}}$ – дисперсия адекватности, характеризующая отклонение экспериментальных данных от полученных по выражению (7):

$$S^2_{\text{ад}} = \frac{n \cdot \varphi}{N - B};$$

φ – остаточная сумма квадратов

$$\left(\varphi = \frac{S^2_{j\max}}{\sum\limits_{j=1}^{N} S^2_j} = 0{,}1100 \right);$$

B – число коэффициентов выражения; F_{q} – табличное (критическое) значение F – критерия Фишера $\left(F_{q(n-1;N;p)}\right)$.

Согласно вычислениям, выражение с доверительной вероятностью 95 % адекватно, так как расчетное значение критерия Фишера меньше критического значения: $F_p = 0{,}103 < F_{q\,3;16;0{,}95} = 3{,}240$ [15]. Также расчеты по выражению (7) показывают, что остаточное среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\text{ост}} = 1{,}013$ меньше исходной нечеткости принятия решений экспертами 1,42. Как следует из анализа полученной математической модели, значимыми оказались и нелинейные члены разложения полинома, что подтверждает достаточно высокий профессионализм экспертов при прогнозировании урожайности крупноплодной клюквы в зависимости от принятых переменных.

Анализ выражения (7) показывает следующее:

а) наилучший показатель биологической потенциальной урожайности крупноплодной клюквы на промышленных плантациях с регулированием водно-воздушного и теплового режимов почвы достигается при $X_1 = +1$, $X_2 = +1$, $X_3 = +1$, $X_4 = +1$ и равен 11,50 т/га;

б) наихудший результат – 1,09 т/га – ожидается, когда уровень почвенной влаги низкий ($X_1 = -1$), имеет место на промышленном клюквенном чеке воздействие возвратных весенних заморозков ($X_2 = -1$), эффективность внесения минеральных удобрений низкая ($X_3 = -1$), уровень химической защита растений на чеках от сорняков, вредителей, болезней низкий ($X_4 = -1$);

в) фактор «химическая защита растений» на чеке (X_4) оказывает более существенное влияние на биологическую урожайность крупноплодной клюквы, а также на условия труда [20], нежели другие рассматриваемые факторы, о чем свидетельствуют значения коэффициентов в выражении (7):

$$X_4 = 1{,}716 > X_2 = 1{,}347 > X_3 = 1{,}067 > X_1 = 0{,}879;$$

г) результат численного эксперимента, при котором переменные X_1 и X_3 зафиксированы на определенных значениях ($X_1 = +1$; $X_3 = +1$), показывает существенное влияние факторов X_4 (химическая защита растений на чеке) и X_2 (воздействие возвратных весенних заморозков) на потери, которые могут составлять свыше 40 %:

$$У(X_2; X_4) = 8{,}447 + 0{,}366 \cdot X_2 + 1{,}716 \cdot X_4 + 0{,}226 \cdot X_2 \cdot X_4; \quad (9)$$

д) несоблюдение требуемых показателей водно-воздушного и теплового режимов почвы на промышленных чеках крупноплодной клюквы ($X_1 = –1$; $X_2 = –1$), даже при качественном внесении минеральных удобрений ($X_3 = +1$) и соблюдении дозы и регламента использования средств химической защиты растений ($X_4 = +1$), сопровождается снижением урожайности ягод на 30,8 %.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана математическая модель, которая позволяет прогнозировать эффективность и безопасность промышленного производства крупноплодной клюквы с учетом изменяющихся параметров (факторов) состояния производственной среды промышленных чеков. Установлено, что фактор «химическая защита растений» на чеках оказывает более существенное влияние на биологическую урожайность ягод, нежели другие рассматривают факторы («уровень почвенной влаги на чеке», «воздействие возвратных весенних заморозков», «эффективность внесения минеральных удобрений»). Несоблюдение же требуемых показателей водно-воздушного и теплового режимов почвы на промышленных чеках приводит к значительному снижению урожайности ягод.

Список использованных источников

1. Клюква крупноплодная в Белоруссии / Е. А. Сидорович, М. А. Кудинов, Н. Н. Рубан [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1987. – 238 с.

2. Черкасов, А. Ф. Основы технологии и агротехники плантационного возделывания клюквы / А. Ф. Черкасов // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. / Рос. акад. естеств. наук, Междунар. акад. авт. науч. открытий и изобретений. – М., 2002. – Вып. 6. – С. 63–71.

3. Белорусское Полесье: стратегия и тактика комплексного освоения: 1966–2005 / под ред. И. В. Титова. – Минск: Беларусь, 2006. – 430 с.

4. Мисун, В. Л. Оценка загрязнения воздуха производственной среды при эксплуатации технических средств для внесения раствора пестицида на растения / В. Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 282–285.

5. Мисун, Л. В. Техносферная безопасность / Л. В. Мисун, Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск: БГАТУ, 2023. – 208 с.

6. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун, В. А. Агейчик, Ал-й Л. Мисун [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2012. – 188 с.

7. Технология промышленного выращивания клюквы крупноплодной на получение ягодной продукции: обзор. информ. / Е. А. Сидорович, Н. Н. Рубан, А. В. Шерстеникина [и др.]. – Минск: БелНИИНТИ, 1992. – 120 с.

8. Мисун, Л. В. Технологические процессы и средства механизации промышленного выращивания брусничных культур / Л. В. Мисун. – Минск: БГАТУ, 2008. – 203 с.

9. Лягуский, В. Г. Экологическая безопасность химической защиты промышленных клюквенных плантаций / В. Г. Лягуский, Л. В. Мисун, В. Л. Мисун // Агропанорама. – 2007. – № 4. – С. 15–19.

10. Мисун, Л. В. Организация безопасной эксплуатации технических средств защиты растений в промышленном производстве клюквы / Л. В. Мисун, А. А. Зеленовский, В. Л. Мисун. – Минск: БГАТУ, 2011. – 122 с.

11. Мисун, В. Л. Улучшение условий и повышение безопасности труда при механизированном контактном внесении пестицидов на растения / В. Л. Мисун // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 3. – С. 55–60.

12. Спесивцев, А. В. Нечетко-возможностный подход к формализации и использованию экспертных знаний для оценивания состояний сложных объектов / А. В. Спесивцев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 11. – С. 985–994. https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-11-985-994

13. Азаренко, В. В. Методические подходы оценки и управления производственным риском в растениеводческой отрасли АПК / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, А. Л. Мисун // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2017. – № 3. – С. 99–108.

14. Цымбал, А. А. Программирование урожая при автоматизированном проектировании агротехнологий возделывания черной смородины / А. А. Цымбал, Д. О. Хорт, И. Г. Смирнов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 1. – С. 18–21.

15. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных: в 2 т. / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. под ред. Э. К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – Т. 1. – 610 с.

16. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1965. – 511 с.

17. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования: учеб.-метод. комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 275 с.

18. Спесивцев, А. В. Выбор достаточного количества коэффициентов аппроксимирующего полинома в нечетком многомерном факторном пространстве / А. В. Спесивцев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 33–36.

19. Шарапов, С. В. Критерий информативности полиномиальной модели на основе функций принадлежности специального типа / С. В. Шарапов, А. В. Спесивцев, А. В. Вагин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 1. – С. 70–75.

20. Дашков, В. Н. К вопросу применения средств защиты органов дыхания, глаз и кожи при работе с пестицидами в растениеводческой отрасли АПК / В. Н. Дашков, Л. В. Мисун, В. Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 50–53.

References

1. Sidorovich E. A., Kudinov M. A., Ruban N. N., Sherstenikina A. V., Rupasova Zh. A., Shapiro D. K., Gorlenko S. V. *Large-fruited cranberries in Byelorussia.* Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1987. 238 p. (in Russian).

2. Cherkasov A. F. Fundamentals of technology and agricultural engineering of plantation cultivation of cranberries. *Netraditsionnye prirodnye resursy, innovatsionnye tekhnologii i produkty: sbornik nauchnykh trudov* [Untraditional natural resources, innovation technologies and products: collected scientific works]. Moscow, 2002, iss. 6, pp. 63–71 (in Russian).

3. Titov I. V. (ed.). *Belarusian Polessie: strategy and tactics of integrated exploration: 1966–2005.* Minsk, Belarus' Publ., 2006. 430 p. (in Russian).

4. Misun V. L. Assessment of air pollution in the production environment during the operation of technical means for applying a pesticide solution to plants. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental subject collection]. Minsk, 2022, iss. 55, pp. 282–285 (in Russian).

5. Misun L. V., Misun Al-i L., Misun Al-r L. *Technosphere safety.* Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University, 2023. 208 p. (in Russian).

6. Misun L. V., Ageichik V. A., Misun Al-i L., Gurina A. N., Misun Al-r L. *Organizational and technical measures to increase safety and improve working conditions for operators of mobile agricultural equipment.* Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University, 2012. 188 p. (in Russian).

7. Sidorovich E. A., Ruban N. N., Sherstenikina A. V., Volod'ko I. K., Galynskaya N. A., Marmalyukov V. P., Pasko A. P. *Technology of industrial cultivation of large-fruited cranberries to obtain berry products.* Minsk, Belarusian Research Institute of Scientific, Technical, Information and Technical-Economic Research, 1992. 120 p. (in Russian).

8. Misun L. V. *Technological processes and means of mechanization of industrial cultivation of lingonberry crops.* Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University, 2008. 203 p. (in Russian).

9. Lyaguskii V. G., Misun L. V., Misun V. L. Environmental safety of chemical protection of industrial cranberry plantations. *Agropanorama*, 2007, no. 4, pp. 15–19 (in Russian).

10. Misun L. V., Zelenovskii A. A., Misun V. L. *Organisation of safe operation of technical means of plant protection in industrial cranberry production.* Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University, 2011. 122 p. (in Russian).

11. Misun V. L. Improvement of working conditions and safety during mechanized contact application of pesticides to plants. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki = Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences*, 2021, no. 3, pp. 55–60 (in Russian).

12. Spesivtsev A. V. Fuzzy-probabilistic approach to formalizing and using expert knowledge to evaluate complex objects states. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie = Journal of Instrument Engineering*, 2020, vol. 63, no. 11, pp. 985–994 (in Russian).

13. Azarenko V. V., Misun A. L., Misun A. L. Methodological approaches to assessment and management of manufacturing risk in the plant-growing sector of the AIC. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no. 3, pp. 99–108 (in Russian).

14. Tsymbal A. A., Khort D. O., Smirnov I. G. Yield programming in automated designing of agro-technologies of blackcurrant cultivation. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2011, no. 1, pp. 18–21 (in Russian).

15. Johnson N. L., Leone F. C. *Statistics and experimental design in engineering and the physical sciences*. 2nd ed. New York, Wiley, 1977. 1090 p.

16. Smirnov N. V., Dunin-Barkovskii I. V. *A course in probability theory and mathematical statistics for technical applications.* 2nd ed. Moscow, Nauka Publ., 1965. 511 p. (in Russian).

17. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. *Fundamentals of scientific research and modeling.* Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University, 2010. 275 p. (in Russian).

18. Spesivtsev A. V. Selection of a sufficient number of coefficients of an approximating polynomial in a fuzzy multidimensional factor space. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2008, no. 4, pp. 33–36 (in Russian).

19. Sharapov S. V., Spesivtsev A. V., Vagin A. V. Criterion for assessing informativeness of the polynomial model based on the membership functions of a special type. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of Risk Management in the Technosphere*, 2012, no. 1, pp. 70–75 (in Russian).

20. Dashkov V. N., Misun L. V., Misun V. L. To the question of application respiratory protection equipment, eyes and skin when working with pesticides in the plant industry of AIC. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental subject collection]. Minsk, 2020, iss. 54, pp. 50–53 (in Russian).

Информация об авторах

Азаренко Владимир Витальевич – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, доцент, академик-секретарь Отделения аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Президиум Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072, Минск, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0003-2122-3281. E-mail: azarenko@presidiun.basnet.by

Мисун Владимир Леонидович – старший преподаватель кафедры экономики и организации предприятий АПК, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: SLM_90@mail.ru

Мисун Алексей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры управления охраной труда, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: LLM_90@mail.ru

Information about the authors

Vladimir V. Azarenko – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor, Academic Secretary of the Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0003-2122-3281. E-mail: azarenko@presidiun.bas-net.by

Vladimir L. Misun – Senior Lecture of the Department of Economics and Organization of Agricultural Enterprises, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti Ave., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SLM_90@mail.ru

Aleksey L. Misun – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Security Management, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti Ave., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: LLM_90@mail.ru

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)
УДК 631.358-025.13:634.63
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-165-176

Поступила в редакцию 21.08.2024
Received 21.08.2024

Aksar Ali Khan[1], Zia-Ul-Haq[1], Hafiz Sultan Mahmood[2], Tahir Iqbal[1], Muhammad Ansar[1], Muzammil Husain[2], Muhammad Adnan Islam[2], Syed Mudassir Raza[3], Ibrar Ahmad[4], Abu Saad[1]

[1]Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University, Rawalpindi, Pakistan
[2]Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council, Islamabad, Pakistan
[3]College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan, China
[4]College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, China

DESIGN, DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF A TRACTOR OPERATED OLIVE HARVESTER

Abstract. To speed up the olive harvesting process, a tractor-driven olive harvesting machine was designed and manufactured at the Institute of Agricultural Engineering (AEI), Islamabad. This newly developed equipment was tested on the Bari Zaitoon-I cultivar for its performance evaluation. This innovative technology has proven valuable in efficiently replacing expensive manual harvesting operations with timely and economic alternative. It was experimentally evaluated at different PTO speeds, stroke lengths (SL), and vertical clamp positions (CP) on the tree to find the harvested and leftover fruit (%) and field capacity (trees/h) of the machine. Data collected was statistically analyzed by using "Statistix 8.1" software at a 5 % level of probability. The best results were recorded as 92.4 % harvested fruit, 7.6 % leftover fruit and 23.6 trees/h field capacity at the PTO speed of 300 rpm along with the stroke length of 10 cm and clamp position of 1 m on the tree trunk from the ground. The use of the developed equipment will make it possible to harvest olives in a shorter time than with manual harvesting without reducing the quality and weight of the obtained products.

Keywords: economic feasibility, field capacity, innovative technology, machine efficiency, mechanical harvesting

For citation: Aksar Ali Khan, Zia-Ul-Haq, Hafiz Sultan Mahmood, Tahir Iqbal, Muhammad Ansar, Muzammil Husain, Muhammad Adnan Islam, Syed Mudassir Raza, Ibrar Ahmad, Abu Saad. Design, development and performance evaluation of a tractor operated olive harvester. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 2, pp. 165–176. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-165-176

Аксар Али Хан[1], Зия-Уль-Хак[1], Хафиз Султан Махмуд[2], Тахир Икбал[1], Мухаммад Ансар[1], Музаммил Хусейн[2], Мухаммад Аднан Ислам[2], Сайед Мудассир Раза[3], Ибрар Ахмад[4], Абу Саад[1]

[1]Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха, Равалпинди, Пакистан
[2]Институт сельскохозяйственной инженерии, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана, Исламабад, Пакистан
[3]Инженерный колледж, Хуажонгский сельскохозяйственный университет, Ухань, Китай
[4]Колледж биосистемной инженерии и пищевых наук, Чжэцзянский университет, Ханчжоу, Китай

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА РАБОТЫ МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА ОЛИВОК, УПРАВЛЯЕМОЙ ТРАКТОРОМ

Аннотация. Для ускорения процесса сбора урожая оливок в Институте сельскохозяйственной инженерии (Исламабад) была разработана и произведена машина для сбора оливок, управляемая трактором. Новое оборудование было испытано на сорте Bari Zaitoon-I для оценки работы. Инновационная технология доказала свою эффективность при замене дорогостоящих ручных систем сбора урожая на современную и экономичную. Экспериментальная оценка проводилась при различных скоростях вращения ВОМ, длине хода (SL) и вертикальном положении зажима (CP) на стволе дерева для определения количества собранных и несобранных плодов (%), а также производительности машины (деревьев в час). Собранные данные были обработаны методом статистического анализа с помощью программы «Statistix 8.1» при 5%-м уровне вероятности. Наилучшие результаты были зафиксированы на уровне 92,4 % собранных плодов, 7,6 % несобранных плодов и производительности 23,6 дерева в час при скорости вращения ВОМ 300 об/мин, длине хода 10 см и положении зажима на

стволе дерева на высоте 1 м от земли. Использование разработанного оборудования позволит производить сбор оливок в более короткие сроки по сравнению с ручным сбором без снижения качества и веса полученной продукции.

Ключевые слова: экономическая обоснованность, производительность, инновационная технология, эффективность машины, механический сбор урожая

Для цитирования: Проектирование, разработка и оценка работы машины для сбора оливок, управляемой трактором / Аксар Али Хан, Зия-Уль-Хак, Хафиз Султан Махмуд [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 165–176. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-165-176

Introduction. Olive (*Olea europaea* L.) plants can be grown to a considerable size, they are characterized by slow growth rates and remarkable longevity. The dominance of terminal growing apices tends to inhibit the development of axillary buds in a basipetal direction. However, factors such as light exposure, soil quality, and growth regulators can influence apical dominance. Adequate light penetration is crucial for the propagation of olive flowers. Its leaves are bifacial and exhibit morphological diversity [1].

Spain, Italy, Turkey, Greece, and Morocco stand out as the primary global contributors to olive production. Spain leads the world in olive cultivation, yielding an impressive 9.8 million tons each year. Italy and Morocco follow, with annual productions of 1.87 million tons and 1.56 million tons respectively. It's important that Pakistan has a substantial land area suitable for olive farming, exceeding that of Spain. Interestingly, Spain currently dominates the global olive oil market, accounting for over 75 percent of its production [2].

Sumrah et al. [3] proposed that olive cultivation and consumption are becoming increasingly significant in Pakistan over time. Varieties of olives with larger fruit sizes hold great value for both olive growers and consumers. A study was conducted to assess the performance of various table olive varieties at the Barani Agricultural Research Institute (BARI), Chakwal in the Pothwar region of Punjab, Pakistan. Eight different olive varieties were evaluated for their growth and yield. Notably, the Gemlik, Ascolana, Hamdi, and Earlik varieties exhibited exceptional performance, yielding the highest fruit weight (6.29 g), oil recovery percentage (24.66 %), and fruit yield (22.66 kg). Considering their impressive yield and growth characteristics these varieties are well-suited for large-scale cultivation in the Pothwar region of Pakistan.

The initiative "Promotion of Olive Cultivation for Economic Development and Poverty Alleviation" was granted to the Government of Pakistan under an agreement with the Italian Government, specifically a Debt Swap Agreement. This project is currently in progress and is being implemented in partnership with the National Agricultural Research Council (NARC) and its associated research facilities situated in KPK, Baluchistan, FATA, and Punjab provinces. The Government of Pakistan is actively working on expanding olive cultivation on a substantial scale through its 'Olive Promotion Project', which is administered by NARC. It is worth noting that an estimated 2.9 million olive plants have been successfully planted across approximately 25,600 acres of land throughout Pakistan as part of this endeavour [2].

In Pakistan 3.6 million tree covering 12,500 hectares were planted and there are plans to plant 10 million more trees on additional 30,400 hectares of land. Punjab has 1.74 million hectares of cultivable wasteland. In Pothwar region of Punjab, 2,000 hectares area is under olive cultivation and additional 6,000 hectares is planned to be cultivated. In Baluchistan only around 700 acres is under olive cultivation, but it has shown to be most promising province, therefore 5,665 hectares will be under olive cultivation by 2024. In KPK 2,000 hectares were allocated for olive farming [4–7].

Lack of mechanization makes the harvesting one of the most challenging tasks in olive production. Labour shortage increases the cost of manual harvesting forcing farmers to implement new mechanized technologies. It is a difficult operation, and mechanization in development has been sluggish for a lot of reasons. With increase in cost of labor and decrease in availability of workers to harvest, the focus is on mechanical technologies to harvest the crop. Mechanical harvest technologies are focusing on semi-automatic harvesters, harvest robots, and harvest-assist platforms. Semi-automatic harvesters have not been commercialized due to excessively high occurrence of fruit damage. Harvest robots are not very common due to their low efficiency and high cost [8].

Electrical shakers are hand held devices that produce vibration with an engine or an electric motor, and these devices shake the fruit and remove it from the tree. As of now, these machines on the average are able to harvest more than 80 % of total of the weight of olives yielded on each tree in between 5 to 10 min, while the performance of these machine get adversely affected by the factors related with the design of machine and variety of tree [9].

Sola-Guirado et al. [10] suggested that the olive harvesting has traditionally been carried out manually, which could pose potential risks to the overall crop yield and profitability. Therefore, two mechanical harvesting methods, the canopy shaker harvester and the tree trunk shaker, were tested. The canopy shaker harvester proven to be more effective but requires specific layout and the management of canopy hedging to achieve an acceptable harvesting efficiency of 80 % approximately. While, the tree trunk shaker has demonstrated a higher efficiency, reaching 95 % approximately, although it remains dependent on manual labor. A high field capacity was observed in both systems, averaging at about 0.15 hectares per hour. However, the trunk shaker's efficiency decreases when considering the involvement of labor, which is estimated at about 0.01 hectares per hour per person.

In Pakistan olive harvesting is carried out manually which requires additional and highly skilled labor. Also, it is laborious job that results in delayed harvesting. This method is time consuming, labor intensive and sometimes damaging of fruit causes serious quality and weight loss that ultimately decreases profit. Moreover, the extraction of extra virgin and virgin oil requires to be performed within the 24 to 48 hours after harvesting of the olive fruit to ensure the highest quality oil. An experiment was planned by keeping in mind the market/farmer demands. An olive harvesting machine was designed, fabricated and tested at different PTO speeds, vertical clamp positions (CP), and stroke lengths (SL). The aim of this experiment was to make appropriate machine, available for olive fruit harvesting at farm level. This machine proved to be an alternative choice because of its time, labor and cost saving abilities as compared to conventional manual harvesting methods.

Materials and methods. The research objectives were pursued by designing the functional parts of the olive harvesting machine, assembling these parts and subsequently testing the developed machine under normal field conditions.

Description of Study Area. The study area for this research was an olive orchard planted in 2014 by Horticultural Research Institute (HRI) at National Agricultural Research Centre (NARC), Islamabad, Pakistan. The design and development of machine was completed at the Agricultural Engineering Institute (AEI), NARC and then the preparation of planned experiment was carried out.

Design of an Olive Harvesting Machine. The design considerations of this olive harvesting machine were based on local farm requirements and field conditions. This machine was designed for harvesting olive fruit by shaking operation. The shaking mechanism is operated by PTO of tractor. The dimensions of the olive harvesting machine are 535 mm height, 475 mm width and 745 mm length. The machine is driven at the rear of tractor by PTO mechanism with the profile of 1 3/8″, 6 splines. The main frame of the machine is made up of 100 × 100 mm steel pipe with 6 mm thickness (Figure 1). The weight of the machine is approximately 35 kg and can perform the desirable function. The design of the olive harvesting machine was made by using SOLIDWORKS Software. A tractor having 50 hp is suitable to operate the manufactured olive harvesting machine.

Main frame and 3-point hitch assembly. The main frame and three-point hitch assembly was manufactured of square steel pipe of 6 mm thickness and 100 mm width as shown in Figure 2. The material used for its manufacturing was mild steel (ASTM A36). The frame parts were carefully cut and welded for maximum durability and strength.

Rope guider assembly. The rope guider assembly was also made up of mild steel (ASTM A36) plates of 6 mm thickness and 155 × 60 mm (L × W) and a rope mounting pulley of 115 mm outer diameter and 12 mm groove width was also mounted as shown in Figure 3. The guider keeps the rope in place in the bearing so that it does not slip out of it when the shaking is applied. The rope guider assembly was designed in a way that the steel rope can be taken in any direction on the tree without any problem. The rope can be guided at any place on the tree regardless of the tree shape or height.

Shaking unit. The shaking unit of the machine was also made up of mild steel (ASTM A36) plate. The thickness of the plate was 4 mm. A pulley with 50 mm outer diameter and 12 mm groove

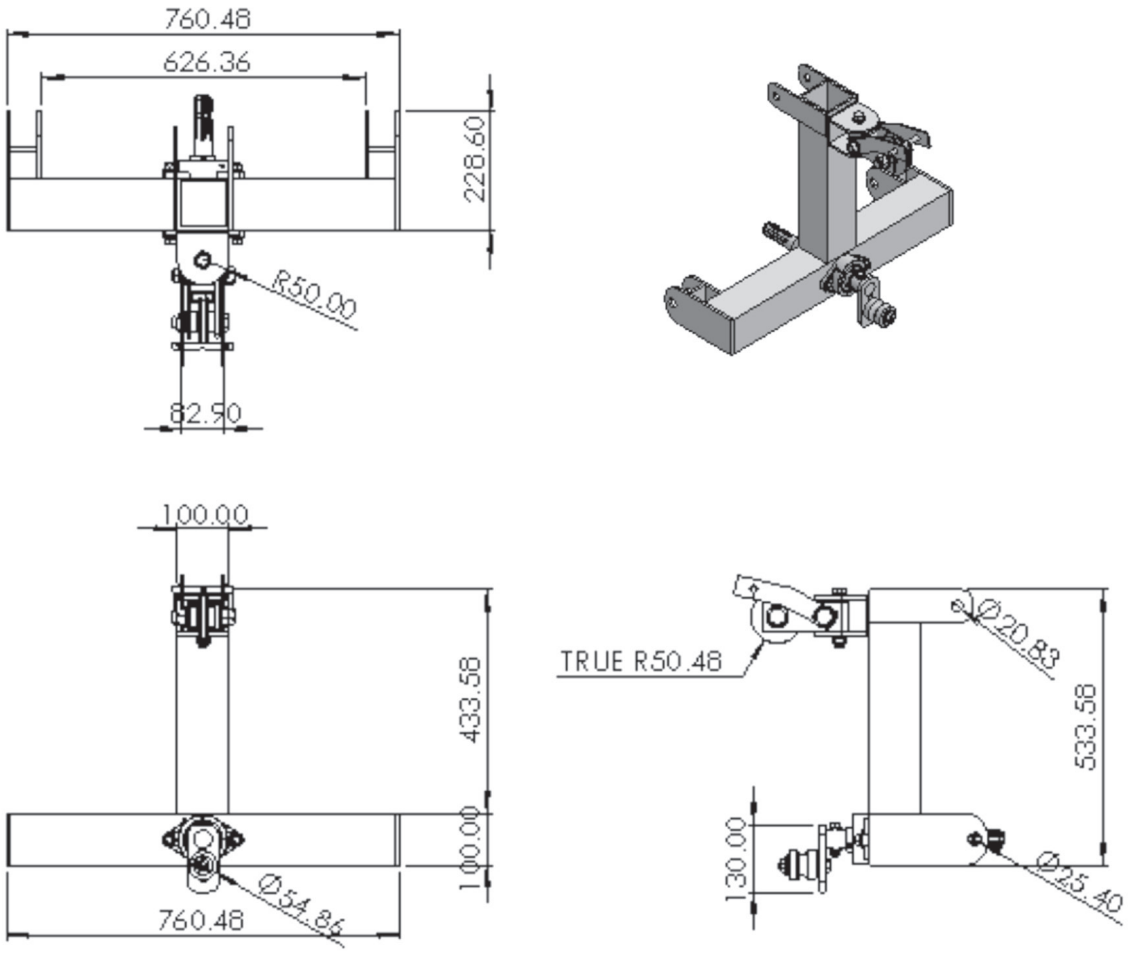


Figure 1. Blueprint and 3D drawing of the olive harvesting machine

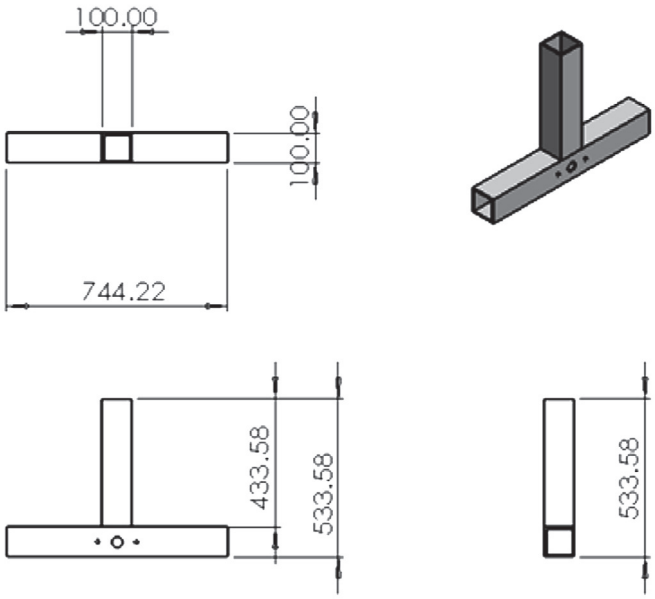


Figure 2. Blueprint and 3D design of the mainframe

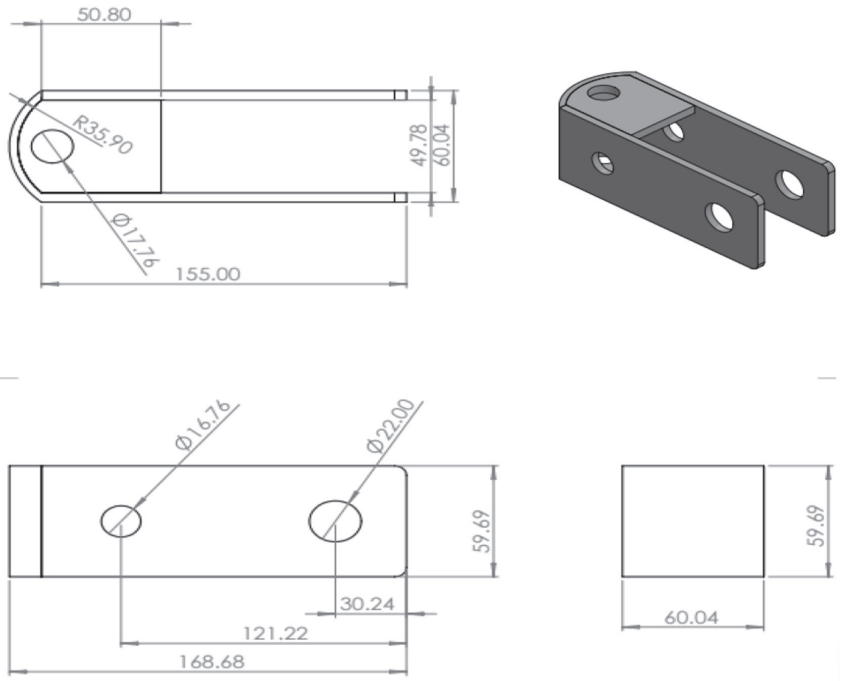


Figure 3. Blueprint and 3D design of rope guider assembly

width was also mounted on the plate for the attachment of iron rope as shown in Figure 4. The shaking unit rotated along with the rotation of the PTO shaft of tractor and the rope attached to the pulley move to and for as the shaking unit rotates. The holes drilled in the plate of the shaking unit are used to adjust the stroke lengths at 5, 10 and 15 cm.

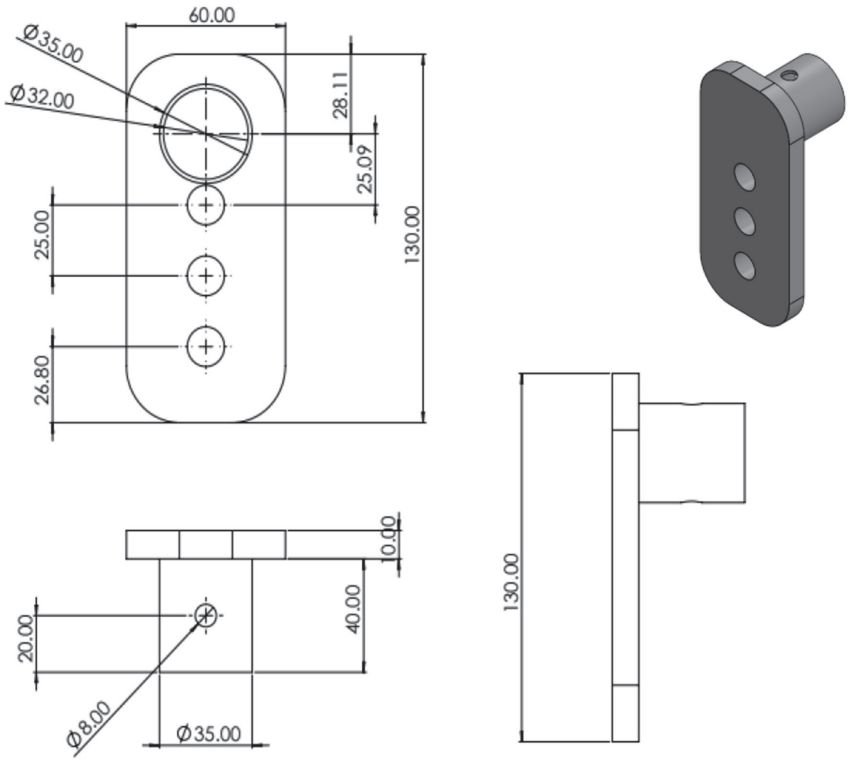


Figure 4. Blueprint and 3D design and actual picture of the shaking unit

Transmission shaft. A six-spline transmission shaft of 355 mm length and 34.8 mm diameter was used to operate the shaking mechanism of the machine as shown in Figure 5. It was attached to the PTO of the tractor by the help of a PTO shaft. The function of transmission shaft is to rotate that shaking mechanism of the machine. As the transmission shaft rotates, the shaking mechanism also rotates due to which the rope moves to and fro to provide that necessary shaking force to the tree. The material used to make the transmission shaft was high carbon steel.

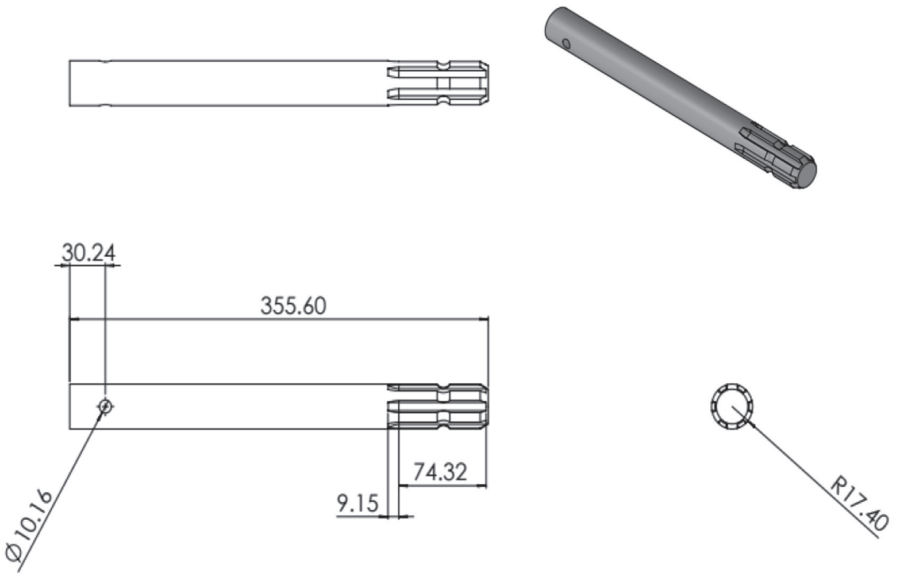


Figure 5. Blueprint and 3D design and actual picture of transmission shaft

Steel wire rope. A steel wire rope of 10 mm diameter and 10 m length. This rope was attached to shaking mechanism at one end and with tree to the other end by the help of a belt. A heavy duty nylon clamp belt was used along with rope to minimize the tree damage.

Olive Variety. The experiment was performed on the Bari Zaitoon-I cultivar of olive which are commonly cultivated in Pakistan. The most favorable period for olive harvesting is when the fruits are ripe and the oil is fully available in them.

Experimental Treatments. The performance of the olive harvesting machine was tested for harvested fruit (%), leftover fruit (%) and field capacity (trees/h), at different PTO speeds (250, 300 and 350 rpm), different levels of clamp belt from ground (0.5; 1.0; 1.5 m), and stroke lengths (10, 15, 20 cm) [11].

Lab and Experimental Measurements. *Lab measurements.* The lab measurements comprised some tree and fruit properties. The detachment force, size and mass of fruit were measured. The tree properties included stem diameter, length and bending stress.

The olive fruit is strongly attached to the limb. Therefore, the fruit removal force to weight ratio is usually high. The fruit removal force can be calculated by equation (1) [12]:

$$F = ma, \tag{1}$$

where F – fruit removal force; m – mass of fruit; a – acceleration by machine.

The fruit removal force must be greater than the fruit detachment force. Fruit removal force can be adjusted by changing the PTO speeds, clamp positions and stroke lengths.

The stress on tree trunk was measured as equation (2) [13]:

$$\sigma_b = \frac{10^{-6} \cdot F \cdot L \cdot d / 2}{\frac{\pi}{64} d^4}, \tag{2}$$

where σ_b – bending stress, MPa; F – load applied, N; L – distance between base and location of load, m; d – trunk diameter, m.

Experimental measurements. The developed machine was operated in the field at different PTO speeds (rpm), clamp heights (m) and stroke lengths (cm). A tarpaulin was placed under the tree for the collection of fruit.

The harvested fruit (HF, %) was calculated from equation (3) according to [14]:

$$HF = \frac{N_1}{N_2}100, \quad (3)$$

where N_1 – weight of fruit harvested, kg; N_2 – total weight of fruit on the tree, kg.

The leftover fruit (LF, %) was calculated by equation (4):

$$LF = HF - 100. \quad (4)$$

The field capacity (F_c, trees/h) was calculated by equation (5) [15], according to

$$F_c = \frac{3600}{TV_t + TDV}, \quad (5)$$

where TV_t – shaking time per tree, s; TDV – time to move tractor/machine from one tree to another, s.

Statistical Analysis. Experimental data were statistically analysed by using Two-Way Anova (Factorial Design) in "Statistix 8.1" software at a 5 % level of probability.

Results and Discussion. The performance of the newly developed machine was evaluated in terms of harvested fruit percentage, leftover fruit percentage, and time required to harvest a tree. The machine was evaluated at three different PTO speeds (250, 300 and 350 rpm), clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm). Results for various parameters concerning different treatments are discussed as follows.

The harvested fruit percentage of this machine was quantified during the olive harvesting season of 2023. The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths.

At the PTO speed of 250 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the harvested fruit (88.5 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm, while the minimum mean percentage (71.6 %) was observed at the clamp position of 1.5 m and stroke length of 15 cm. At the PTO speed of 300 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the harvested fruit (92.4 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm, while the minimum mean percentage (77.1 %) was observed at the clamp position of 0.5 m and stroke length of 5 cm. At the PTO speed of 350 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the harvested fruit (88.5 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm, while the minimum mean percentage (76.1 %) was observed at the clamp position of 0.5 m and stroke length of 15 cm as shown in Figure 6.

The results of this experiment are parallel with the outcomes of [16], who showed that harvested fruit equal to or higher than 85 % are considered as the breakeven point for mechanical harvesting of olives with trunk shakers.

The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths. The maximum mean harvested fruit percentage (92.4 %) was observed at the PTO speed of 300 rpm, stroke length of 10 cm and the clamp position of 1 m from the ground.

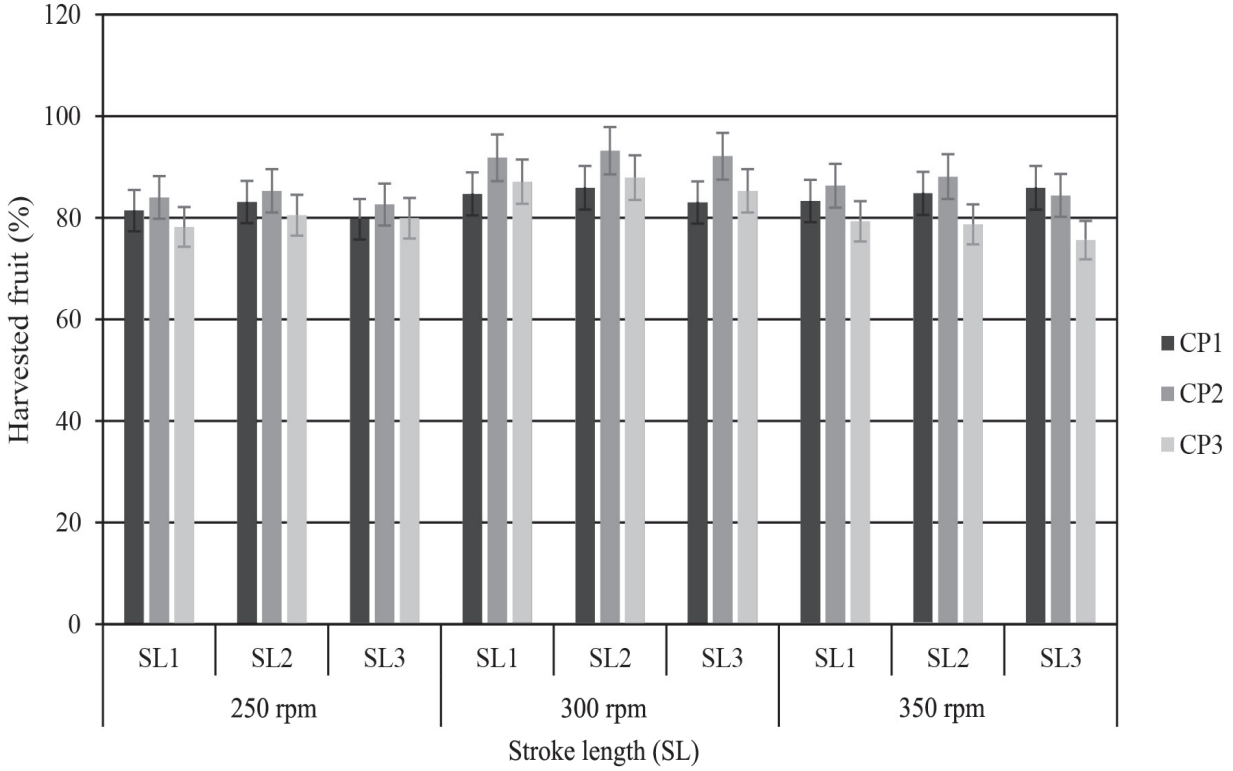


Figure 6. Harvested fruit (%) at different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths

The leftover fruit percentage of this machine was calculated during the olive harvesting season of 2023. The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths.

At the PTO speed of 250 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the leftover fruit (28.3 %) was observed at the clamp position of 1.5 m and stroke length of 15 cm while the minimum mean percentage (11.5 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm. At the PTO speed of 300 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the leftover fruit (22.8 %) was observed at the clamp position of 0.5 m and stroke length of 5 cm while the minimum mean percentage (7.6 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm. At the PTO speed of 350 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean percentage of the leftover fruit (23.8 %) was observed at the clamp position of 0.5 m and stroke length of 15 cm, while the minimum mean percentage (11.5 %) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm as shown in Figure 7. The outcomes are in line with the results of [17], who found that yield loss was found equal to 9.1 % for mechanical harvesting of olives with trunk shakers.

The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths. The minimum mean leftover fruit percentage (7.6 %) was observed at the PTO speed of 300 rpm, stroke length of 10 cm and the clamp position of 1 m from the ground.

The field capacity of this machine was calculated during the olive harvesting season of 2023. The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths.

At the PTO speed of 250 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean field capacity (16.4 trees/h) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm while the minimum mean field capacity (9.4 trees/h) was observed at the clamp position of 1.5 m and stroke length of 5 cm. At the

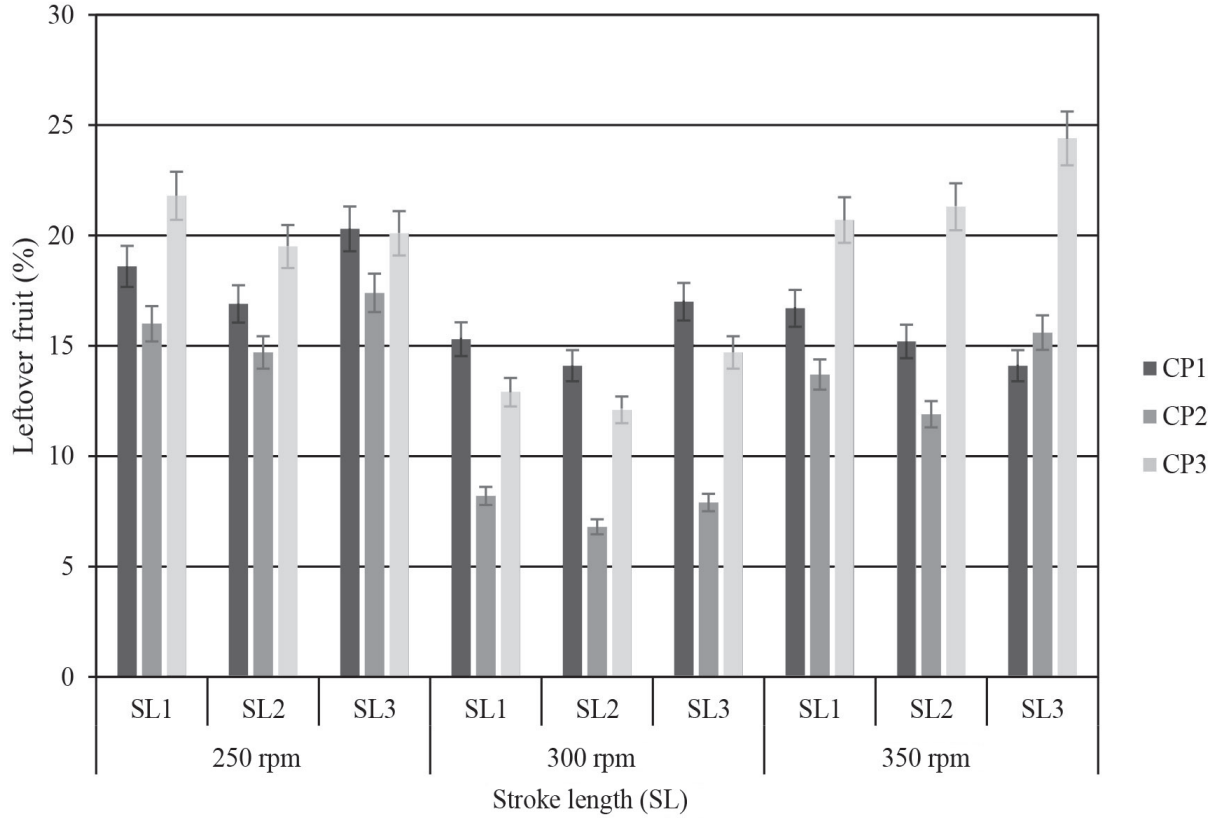


Figure 7. Leftover fruit (%) at different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths

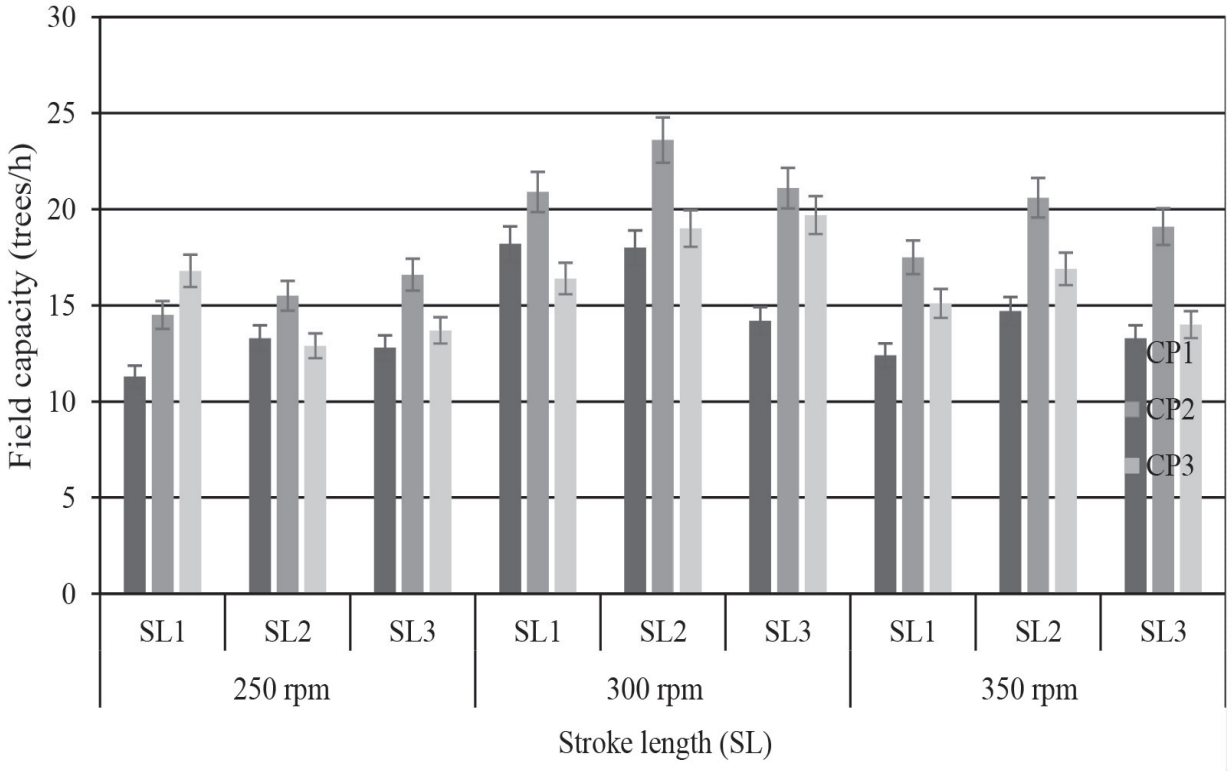


Figure 8. Leftover fruit (%) at different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths

PTO speed of 300 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean field capacity (21.8 trees/h) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm while the minimum mean field capacity (11.5 trees/h) was observed at the clamp position of 1.5 m and stroke length of 10 cm. At the PTO speed of 350 rpm and the clamp positions on the tree from the ground (0.5; 1.0; 1.5 m) and stroke lengths (5, 10 and 15 cm), the maximum mean field capacity (21.1 trees/h) was observed at the clamp position of 1 m and stroke length of 10 cm while the minimum mean field capacity (11.1 trees/h) was observed at the clamp position of 0.5 m and stroke length of 5 cm as shown in Figure 8. The findings revealed that field capacity was parallel to the findings of [15], who found that field capacity/work rate were 22–26 trees/h for mechanical harvesting of olives with trunk shakers.

The machine was subjected to different PTO speeds, clamp heights and stroke lengths. The maximum mean field capacity (21.8 trees/h) was observed at the PTO speed of 300 rpm, stroke length of 10 cm and the clamp position of 1 m from the ground.

Status of Mechanically Harvested Tree. The trees harvested mechanically showed no noticeable damage. There was no instant damage or bruising evident on the branches during the shaking operation, close examination shown insignificant bruising. Interestingly, bruising and slight damage may have a good impact on ethylene levels, which can stimulate floral bud induction and improve flowering in succeeding seasons. It's commonly observed that an increase in flower initiation occurs in the season after mechanical harvesting, likely due to potential phloem obstruction caused by the vibrating action [18].

Conclusion. Indigenously developed olive harvesting machine performed better at the PTO speed of 300 rpm, with stroke length of 10 cm and the clamp position of 1 m from the ground with the maximum mean harvested fruit percentage (92.4 %) and field capacity (21.8 trees/h) with the minimum mean leftover fruit percentage (7.6 %).

References

1. Mukrimaa S. S., Nurdyansyah Fahyuni E. F., Yulia Citra A., Schulz N. D., Ghassan, Taniredja T., Faridli E. M., Harmianto S. Covariance structure analysis of health-related indicators for home-dwelling elderly people centered on subjective health. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 2016, vol. 6, art. 128.

2. Potential of olives and olive oil in Pakistan. Pakistan Business Council. Available at: https://www.pbc.org.pk/research/potential-of-olives-and-olive-oil-in-pakistan/ (accessed 12.08.2024).

3. Sumrah M. A., Jan M., Hussain A., Akhtar S., Nawaz H., Afzal M., Umar H. Evaluation of some promising varieties of olive (Olea europaea L.) for growth and yield under pothwar regions of Punjab, Pakistan. Pakistan Journal of Agricultural Research, 2021, vol. 34, no. 3, pp. 446–453. https://doi.org/10.17582/JOURNAL.PJAR/2021/34.3.446.453

4. Mandokhail R. Olive farming is key to saving the forests of Balochistan. Olive Oil Times. Available at: https://www.oliveoiltimes.com/business/asia/olive-farming-is-key-to-saving-the-forests-of-balochistan/110595 (accessed 12.08.2024).

5. Batra S. Wastelands for olive farming in Punjab. Olive Oil Times. Available at: https://www.oliveoiltimes.com/production/wastelands-for-olive-farming-in-punjab/50422 (accessed 12.08.2024).

6. Basharat R. In Pakistan, efforts to grow olives in underdeveloped areas begin to bear fruit. Olive Oil Times. Available at: https://www.oliveoiltimes.com/business/in-pakistan-efforts-to-grow-olives-in-underdeveloped-areas-begin-to-bear-fruit/105533 (accessed 12.08.2024).

7. Putinja I. Pakistan plants more olive trees. Olive Oil Times. Available at: https://www.oliveoiltimes.com/business/asia/pakistan-plants-more-olive-trees/62551 (accessed 12.08.2024).

8. Zhang Z., Heinemann P. H., Liu J., Baugher T. A., Schupp J. R. The development of mechanical apple harvesting technology: a review. Transactions of the ASABE, 2016, vol. 59, no. 5, pp. 1165–1180. https://doi.org/10.13031/trans.59.11737

9. Aiello G., Vallone M., Catania P. Optimising the efficiency of olive harvesting considering operator safety. Biosystems Engineering, 2019, vol. 185, pp. 15–24. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.016

10. Sola-Guirado R. R., Castillo-Ruiz F. J., Blanco-Roldan G. L., Gonzalez-Sanchez E., Castro-García S. Mechanical canopy and trunk shaking for the harvesting mechanization of table olive orchards. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo, 2020, vol. 52, no. 2, pp. 124–139.

11. Altermzey G. Manufacturing and performance evaluation of a tractor-mounted olive harvesting machine. Egyptian Journal of Agricultural Research, 2020, vol. 98, no. 3, pp. 533–547. https://doi.org/10.21608/ejar.2021.46468.1031

12. Awady M. N., Kabbany F., Genaidy M. A. I., Fahim M. Lectures in differentiation and integration. Ain Shams University, Agricultural Engineering Department, 2003.

13. Shigley J. E., Mitchell L. D. Mechanical engineering design. 4th ed. New York, McGraw-Hill, 1983. 869 p.

14. Polat R., Gezer I., Guner M., Dursun E., Erdogan D., Bilim H. C. Mechanical harvesting of pistachio nuts. Journal of Food Engineering, 2007, vol. 79, no. 4, pp. 1131–1135. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.023

15. Almeida A., Peça J., Pinheiro A., Dias A., Santos L., Reynolds D., Lopes J. Performance of three mechanical harvesting systems for olives in Portugal. *Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede: zbornik radova. 35. Međunarodnog simpozija iz područja mehanizacije poljoprivrede, Opatija, Croatia, 19–23 veljače 2007.* Zagreb, 2007, pp. 461–466.

16. Farinelli D., Tombesi S., Famiani F., Tombesi A. The fruit detachment force/fruit weight ratio can be used to predict the harvesting yield and the efficiency of trunk shakers on mechanically harvested olives. *Acta Horticulturae*, 2012, no. 965, pp. 61–64. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.965.5

17. Zion B., Bechar A., Regev R., Shamir N., Weissblum A., Zipori Y., Dag A. Mechanical harvesting of olives-an operations study. *Israel Journal of Plant Sciences*, 2011, vol. 59, no. 1, pp. 71–84. https://doi.org/10.1560/IJPS.59.1.71

18. Gawankar M. S., Haldankar P. M., Salvi B. R., Parulekar Y. R., Dalvi N. V., Kulkarni M. M., Saitwal Y. S., Nalage N. A. Effect of girdling on induction of flowering and quality of fruits in horticultural crops – a review. *Advanced Agricultural Research & Technology Journal*, 2019, vol. 3, no. 2, pp. 201–215.

Information about the authors

Aksar Ali Khan – M. Sc. (Hons.) Agricultural Engineering, Department of Farm Machinery and Precision Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University (PMAS-Arid Agriculture University) (46300, Rawalpindi, Pakistan). https://orcid.org/0009-0003-6881-2320. E-mail: aksarkhan242@gmail.com

Zia-Ul-Haq – Ph. D. Agricultural Engineering, Department of Farm Machinery and Precision Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, PMAS-Arid Agriculture University (46300, Rawalpindi, Pakistan). https://orcid.org/0000-0003-4573-1766. E-mail: zia.ch@uaar.edu.pk

Hafiz Sultan Mahmood – Ph. D. Agricultural Engineering and Precision Agriculture, Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council (44000, Islamabad, Pakistan). https://orcid.org/0000-0002-2715-9666). E-mail: sultan_fmi@hotmail.com

Tahir Iqbal – Ph. D. Renewable Energy and Clean Power, Department of Farm Machinery and Precision Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University (46300, Rawalpindi, Pakistan). https://orcid.org/0000-0002-8358-1992. E-mail: tahir.iqbal@uaar.edu.pk

Muhammad Ansar – Ph. D. Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University (46300, Rawalpindi, Pakistan). https://orcid.org/0000-0002-3260-252X. E-mail: muhammad.ansar@uaar.edu.pk

Muzammil Husain – M. Sc. Agricultural Engineering, Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council (44000, Islamabad, Pakistan). https://orcid.org/0009-0004-4105-7174. E-mail: engrmuz@gmail.com

Muhammad Adnan Islam – Ph. D. Scholar Biosystems Engineering, Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council (44000, Islamabad, Pakistan). https://orcid.org/0009-0005-4074-1035. E-mail: adnanislam632@yahoo.com

Информация об авторах

Аксар Али Хан – магистр наук (с отличием), сельскохозяйственная инженерия, кафедра сельскохозяйственной техники и точного машиностроения, факультет сельскохозяйственной инженерии и технологий, Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха (46300, провинция Пенджаб, Равалпинди, Пакистан). https://orcid.org/0009-0003-6881-2320. E-mail: aksarkhan242@gmail.com

Зия-Уль-Хак – доктор наук, сельскохозяйственная инженерия, кафедра сельскохозяйственной техники и точного машиностроения, факультет сельскохозяйственной инженерии и технологий, Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха (46300, провинция Пенджаб, Равалпинди, Пакистан). https://orcid.org/0000-0003-4573-1766. E-mail: zia.ch@uaar.edu.pk

Хафиз Султан Махмуд – кандидат наук, сельскохозяйственная инженерия и точное земледелие, Институт сельскохозяйственной инженерии, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана (44000, Исламабад, Пакистан). https://orcid.org/0000-0002-2715-9666. E-mail: sultan_fmi@hotmail.com

Тахир Икбал – доктор наук, возобновляемая и чистая энергия, кафедра сельскохозяйственной техники и точного машиностроения, факультет сельскохозяйственной инженерии и технологий, Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха (46300, провинция Пенджаб, Равалпинди, Пакистан). https://orcid.org/0000-0002-8358-1992. E-mail: tahir.iqbal@uaar.edu.pk

Мухаммад Ансар – доктор наук, агрономия, кафедра агрономии, факультет сельского хозяйства, Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха (46300, провинция Пенджаб, Равалпинди, Пакистан). https://orcid.org/0000-0002-3260-252X. E-mail: muhammad.ansar@uaar.edu.pk

Музаммил Хусейн – магистр наук, сельскохозяйственная инженерия, Институт сельскохозяйственной инженерии, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана (44000, Исламабад, Пакистан). https://orcid.org/0009-0004-4105-7174. E-mail: engrmuz@gmail.com

Мухаммад Аднан Ислам – доктор наук, биосистемная инженерия, Институт сельскохозяйственной инженерии, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана

Syed Mudassir Raza – Ph. D. Scholar Agricultural Mechanization Engineering, College of Engineering, Huazhong Agricultural University (430070, Wuhan, China). https://orcid.org/0009-0000-7511-0106. E-mail: syed@webmail.hzau.edu.cn

Ibrar Ahmad – Ph. D. Scholar Biosystems Engineering, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University (310058, Hangzhou, China). https://orcid.org/0009-0004-2101-1320. E-mail: ibrarrai@zju.edu.cn

Abu Saad – M. Sc. (Hons.) Agricultural Engineering, Department of Farm Machinery and Precision Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, PMAS-Arid Agriculture University (46300, Rawalpindi, Pakistan). https://orcid.org/0009-0006-2522-1725. E-mail: abusaadishaque786@gmail.com.

Сайед Мудассир Раза – доктор наук, механизация сельского хозяйства, Инженерный колледж, Хуажонгский сельскохозяйственный университет (430070, Ухань, Китай). https://orcid.org/0009-0000-7511-0106. E-mail: syed@webmail.hzau.edu.cn

Ибрар Ахмад – доктор наук, биосистемная инженерия, Колледж биосистемной инженерии и пищевых наук, Чжэцзянский университет (310058, Ханчжоу, Китай). https://orcid.org/0009-0004-2101-1320. E-mail: ibrarrai@zju.edu.cn

Абу Саад – магистр наук, сельскохозяйственная инженерия, кафедра сельскохозяйственной техники и точного машиностроения, факультет сельскохозяйственной инженерии и технологий, Сельскохозяйственный исследовательский университет аридной области имени Пира Мехра Али Шаха (46300, провинция Пенджаб, Равалпинди, Пакистан). https://orcid.org/0009-0006-2522-1725. E-mail: abusaadishaque786@gmail.com