

ВЕСЦІ

НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2026. Т. 64, № 1

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2026. Т. 64, № 1

Журнал основан в январе 1963 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларусь

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

Главный редактор

Владимир Григорьевич Гусаков – академик Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Редакционная коллегия:

П. П. Казакевич – Президиум Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь
(заместитель главного редактора)

В. В. Азаренко – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь
(заместитель главного редактора)

Е. Ф. Борисова (ведущий редактор)

Д. М. Богданович – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по животноводству,
Жодино, Беларусь

С. А. Касьянчик – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Д. И. Комлach – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь
по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь

С. А. Кондратенко – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларусь,
Минск, Беларусь

С. В. Кравцов – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по земледелию,
Жодино, Беларусь

А. П. Лихачевич – Институт мелиорации, Национальная академия наук Беларусь, Минск, Беларусь

З. В. Ловкис – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по продовольствию,
Минск, Беларусь

В. Л. Маханько – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по картофелеводству
и плодоовощеводству, Самохваловичи, Беларусь

А. В. Мелещеня – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по продовольствию, Минск, Беларусь

В. К. Пестис – Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь

А. В. Пилипук – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

П. В. Растворгусев – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

В. Н. Тимошенко – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по животноводству, Жодино, Беларусь

Ю. К. Шашко – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларусь, Минск, Беларусь

Редакционный совет:

И. М. Богдевич – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларусь, Минск, Беларусь

Ф. И. Василевич – Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

Д. Вроня – 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, Чанчунь, 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 Беларусь по животноводству, Жодино, Беларусь

Журнал рецензируется. Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов докторских и кандидатских диссертаций, включенных в базу данных Российской индексации 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. 2026. Т. 64, № 1

Выходит на русском, белорусском и английском языках

Редактор Е. Ф. Борисова
Компьютерная верстка Л. И. Кудерко

Подписано в печать 15.01.2026. Выход в свет 29.01.2026. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 42 экз. Заказ 9.

Цена номера: индивидуальная подписка – 15,86 руб., ведомственная подписка – 35,17 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

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

AGRARIAN SERIES. 2026, vol. 64, no. 1

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)

Editor-in-Chief

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

Editorial Board:

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. Likhatshevich – 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

Waclaw Romaniuk – Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland

Evgeny N. Sedov – All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Russia

Vidmantas Stany – 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, 2026, vol. 64, no. 1

Printed in Russian, Belarusian and English

Editor *E. F. Borisova*

Computer imposition *L. I. Kudzerka*

It is sent of the press 15.01.2026. Appearance 29.01.2026. Format 60×84 1/8. Offset paper. The press digital.

Printed pages 10,23. Publisher's signatures 11,3. Circulation 42 copies. Order 9.

Number price: individual subscription – 15,86 byn., departmental subscription – 35,17 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. Scorina St., 220084, Minsk,
Republic of Belarus

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

ЗМЕСТ

ЭКАНОМІКА

Пилипук А. В. Проектирование институциональной архитектуры продовольственной безопасности: сравнительный анализ зарубежной практики (Китай, Швейцария).....	7
Гусаков Г. В., Ёнчик Л. Т., Довнар Л. И. Рынок специализированных продуктов питания: оценка потенциала и перспектив развития в Республике Беларусь.....	16

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

Малюга А. А., Чуликова Н. С., Енина Н. Н., Гутина Е. М., Фоменко В. В., Салахутдинов Н. Ф. Влияние экологически безопасных препаратов на основе хитозана на фитосанитарное состояние посадок картофеля и продуктивность культуры в условиях Западной Сибири.....	35
--	----

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

Шейко И. П., Ходосовский Д. Н., Безмен В. А., Рудаковская И. И. Оптимизация воздухообмена при содержании свиноматок мясного направления продуктивности.....	52
Селимян М. О., Зырянова С. В., Абрамова Н. И., Абрамова М. В. Оценка линий крупного рогатого скота ярославской породы по хозяйственно полезным признакам.....	59
Костоусов В. Г., Лишко В. И., Ласица В. А., Попинченко Т. И., Панасюк М. И., Апсолихова О. Д. Оценка качества среды при выявлении причин гибели рыб.....	69

МЕХАНИЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

Афтаб Халик, Фиаз Ахмад, Ибрар Ахмад, Мухаммад Аваис, Хафиз Султан Махмуд, Мухаммад Мухсин Али, Надим Зубаир. Экспериментальная оптимизация механизма распределения давления в пневматической сеялке для кукурузы с учетом локальных условий работы в Пакистане (на английском языке).....	76
--	----

CONTENTS

ECONOMICS

Pilipuk A. V. Designing the institutional architecture of food security: a comparative analysis of foreign practices (China, Switzerland)..... Gusakov G. V., Yonchik L. T., Dovnar L. I. Specialized food market: assessment of potential and prospects for development in the Republic of Belarus..... 	7 16
---	---------

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

Malyuga A. A., Chulikova N. S., Enina N. N., Gutina E. M., Fomenko V. V., Salakhutdinov N. F. The influence of chitosan-based environmentally friendly agents on the phytosanitary condition of potato plants and crop productivity in Western Siberia..... 	35
--	----

ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

Sheiko I. P., Khodosovsky D. N., Bezmen V. A., Rudakovskaya I. I. Optimization of air exchange when keeping meat-type sows	52
Selimyan M. O., Zyryanova S. V., Abramova N. I., Abramova M. V. Evaluation of Yaroslavl cattle lines based on economically useful characteristics	59
Kostousov V. G., Lishko V. I., Lasitsa V. A., Popinachenko T. I., Panasyuk M. I., Apsolikhova O. D. Habitat as a tool for identifying the causes of mass fish deaths	69

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

Khaliq Aftab, Ahmad Fiaz, Ahmad Ibrar, Awais Muhammad, Mahmood Hafiz Sultan, Mohsin Ali Muhammad, Zubair Nadeem. Experimental optimization of pressure distribution mechanism in a pneumatic maize planter for local working condition in Pakistan	76
---	----

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

ЭКАНОМИКА
ECONOMICS

УДК 338.439.02 (510)(494)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-7-15>

Поступила в редакцию 08.12.2025
Received 08.12.2025

А. В. Пилипук

*Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларусь,
Минск, Республика Беларусь*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ
(КИТАЙ, ШВЕЙЦАРИЯ)**

Аннотация. Современное развитие аграрной экономики определяется не только ростом производственных показателей, но и необходимостью укрепления устойчивости продовольственных систем в условиях глобальных вызовов – изменения климата, роста населения и усиления международной конкуренции. В рамках исследования учтены ключевые тенденции мировой аграрной экономики, включая инструменты, способствующие увеличению объемов производства и обеспечению контроля качества продовольствия через механизмы законодательного регулирования. Особое внимание уделено сравнительному анализу национальных моделей продовольственных систем, позволяющему выявить сильные и слабые стороны различных подходов. В частности, институциональное проектирование продовольственных систем Китая и Швейцарии демонстрирует контрастность стратегий: от масштабного государственного регулирования и централизованного управления до децентрализованных практик, ориентированных на качество и экологическую устойчивость. Республика Беларусь, обладая экспортно ориентированной моделью аграрного сектора и активно участвуя в международных продовольственных цепочках, занимает значимое место в обеспечении глобальной продовольственной устойчивости. Белорусский опыт показывает, что сочетание внутренней продовольственной безопасности и внешнеэкономической активности может стать основой для укрепления позиций страны в мировой экономике. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к формированию национальных продовольственных систем, который учитывает глобальные вызовы и национальные особенности, обеспечивая устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности в условиях мировой экономики.

Ключевые слова: продовольственная устойчивость, глобальные вызовы, аграрная экономика, механизмы регулирования, продовольственная безопасность, экспортный потенциал

Для цитирования: Пилипук, А. В. Проектирование институциональной архитектуры продовольственной безопасности: сравнительный анализ зарубежной практики (Китай, Швейцария) / А. В. Пилипук // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 7–15. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-7-15>

Andrei V. Pilipuk

*Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

**DESIGNING THE INSTITUTIONAL ARCHITECTURE OF FOOD SECURITY:
A COMPARATIVE ANALYSIS OF FOREIGN PRACTICES (CHINA, SWITZERLAND)**

Abstract. Ensuring food security is one of the key objectives of the global economy and international politics. In an increasingly interdependent world, it serves not only as an economic but also as a strategic factor of global stability. The modern development of the agricultural economy is determined not only by the growth of production indicators, but also by the need to strengthen the resilience of food systems in the face of global challenges – climate change, population growth, and intensifying international competition. National food systems are shaped by various models of institutional design, where each coun-

try strives to find a balance between sustainability, efficiency, and social equity. China's experience demonstrates a strategy of large-scale state regulation and technological modernization of agriculture, while Switzerland focuses on environmental sustainability and high product quality standards. The Republic of Belarus, possessing significant agricultural potential and a favorable geographical location, plays an important role in ensuring regional and global food sustainability. The analysis of global trends and national practices makes it possible to identify key directions for the development of food systems and to define Belarus's place in shaping the global architecture of food security.

Keywords: food sustainability, global challenges, agricultural economy, regulatory mechanisms, food security, export potential

For citation: Pilipuk A. V. Designing the institutional architecture of food security: a comparative analysis of foreign practices (China, Switzerland). *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 7–15 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-7-15>

Введение. Республика Беларусь играет значимую роль в обеспечении глобальной продовольственной устойчивости. Достижение высоких результатов в экспорте продуктов питания, удобрений, сельскохозяйственной техники и технологий стало возможным благодаря эффективным механизмам государственного регулирования аграрной экономики. При этом страна всегда находится под влиянием экспортно-импортных ограничений (от ряда доминирующих экономик), внешних факторов и глобальных вызовов, таких как рост заболеваний, связанных с избыточным питанием, трансформация цепочек поставок, цифровизация, роботизация, развитие вертикального земледелия и биотехнологий, рынка альтернативных белков и др. В данной связи системное изучение мировых тенденций и успешного зарубежного опыта становится критически важным.

Усилия и достигнутые результаты в обеспечении продовольственной безопасности Республики Беларусь широко известны. Страна также является значимым «регулятором» глобальной продовольственной устойчивости в части технологий, производства и экспорта (продукты питания, удобрения, машины, оборудование и др.), а также механизмов государственного регулирования национальной аграрной экономики. Значительный уровень открытости экономики республики определяет существенное влияние внешних условий на АПК страны. В данной связи важно системно изучать и учитывать общемировые тенденции развития аграрной экономики как в целом, так и в разрезе регионов. Например, устойчивый рост производства продовольствия в мире не устранил голод, а привел к распространению заболеваний, обусловленных избыточным питанием. Важно также и то, что агропродовольственные системы значительно меняются под влиянием переформатирования глобальных цепей стоимости и технологической трансформации. В данной связи следует выделить цифровизацию и роботизацию, вертикальное земледелие, альтернативные белки, генетику, биотехнологии и ряд других.

Очевидно, что текущие вызовы и угрозы нужно глубоко и системно исследовать и предлагать новые подходы и решения по их преодолению через комплекс мер государственного регулирования. С практической точки зрения существенным является изучение успешного зарубежного опыта институционального проектирования национальных продовольственных систем. Выполненный нами анализ доказывает, что результативные страновые модели обеспечения продовольственной безопасности (Финляндия, Швеция, Дания, Швейцария, США, Канада, Китай, Япония, Россия, Беларусь и др.) включают инструменты, обеспечивающие рост внутреннего производства (прямо или косвенно) и контроль качества продовольствия за счет масштабной поддержки сельскохозяйственного сектора в рамках собственных (с учетом истории, культуры, географического положения, ресурсного обеспечения и др.) механизмов законодательного регулирования и планирования (в том числе через социальные программы).

Именно системно выстроенные и работающие законодательные институты ведущих стран – производителей продовольствия позволяют им устойчиво наращивать объемы финансовой государственной поддержки последние 20 лет [1]. Так, согласно отчету ОЭСР (анализ 54 стран), из 842 млрд долл. США поддержки 75 % (629 млрд долл. США) направляется производителям сельскохозяйственного сырья и продовольствия.

В рамках данного исследования нами представлен опыт Китая и Швейцарии. Эти страны при наличии существенных отличий (масштабы производства, потребления, доступность земельных ресурсов, государственные институты, нормы регулирования и др.) законодательно и организационно-экономически закрепили продовольственную безопасность в качестве ключевого приоритета своего развития (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные индикаторы параметров продовольственной безопасности Китая и Швейцарии, 2023 г.

Table 1. Comparative indicators of food security parameters of China and Switzerland, 2023

Показатель	Китай	Швейцария
Население, чел.	1,410 млрд	9,0 млн
Площадь пашни, млн га	171,6	0,4
Производство зерна, млн т	641,4	1,0
Производство мяса, млн т	97,5	0,5
Производство сельскохозяйственной продукции и продовольствия, млрд долл. США	1 205	39
Импорт сельскохозяйственной продукции и продовольствия, млрд долл. США	223,8	16,8
Экспорт сельскохозяйственной продукции и продовольствия, млрд долл. США	96,8	11,0
Стратегические запасы зерна, млн т	>700	≈0,3
Индекс продовольственной безопасности (2022 г.)	74,2 (25-е место)	78,2 (11-е место)
Самообеспеченность зерном, %	≈90	≈35–40
Самообеспеченность мясом, %	≈92	≈85
Доля расходов на питание в бюджете, %	32,4	12,8
Доля населения с недоеданием, %	<2,5	<1

При меч ани е. Таблица составлена автором по данным [2–10].

Note. The table was compiled by the author based on data from sources [2–10].

Данные подтверждают, что Китай последовательно наращивает масштабы производства и стратегическую автономию с акцентом на диверсификацию источников питания (в том числе поиск альтернативных) и глобальную координацию. Швейцария в данном контексте выстраивает консервативную стратегию обеспечения продовольственной безопасности с акцентами на экологически устойчивое внутреннее производство по традиционным технологиям, контроль качества продукции и локальные цепочки поставок. При этом оба подхода характеризуются эффективностью и адаптированы к национальным условиям. Накопленный исторический опыт институционального проектирования условий устойчивого обеспечения продовольственной безопасности в исследуемых странах уникален.

В Китае с 1982 г. высшие органы власти (*высший руководящий орган партии между съездами: Центральный комитет Коммунистической партии Китая – ЦК КПК; высший исполнительный орган государственной власти, выполняющий функции правительства: Государственный совет Китайской Народной Республики – Госсовет*) ежегодно принимают Центральный документ № 1 (содержит текущие и наиболее актуальные приоритеты, цели и задачи аграрной политики) [11]. Подобные решения имеют наиболее высокий приоритет в стране, а номер документа отражает его первенство в числе значимых по важности решений нормативного значения.

В Швейцарии по результатам референдумов в 1999 и 2017 гг. в Конституцию страны были включены ст. 104. Сельское хозяйство [12] и ст. 104а. Продовольственная безопасность [13, с. 32, сноска 49]. При этом важно отметить, что в этой стране центральное правительство и местные органы самоуправления всегда уделяли значительное внимание развитию сельскохозяйственного производства (сельскохозяйственные субсидии, правила зонирования, законы о наследовании, земельные резервы и инициативы по сохранению культурного наследия фермерских хозяйств и др.).

Анализ показывает, что законодательное закрепление высокого приоритета сельского хозяйства в этих странах позволило в дальнейшем последовательно принять и реализовать на практике необходимые и эффективные меры и механизмы аграрной политики, в том числе финансовые (рисунок). Так, согласно отчету ОЭСР, на долю Китая приходится 37 % всего объема поддержки аграрного сектора среди 54 изученных стран (доля США – 15 %, Индии – 14, ЕС – 13 %). При этом Швейцария, Норвегия, Исландия и Корея обеспечивают поддержку сельского хозяйства в размере более 40 % от валового объема выручки (GFR) [1].

 Китай	 ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	 Швейцария
<u>С 1982 г. ежегодно ЦК КПК и Госсовет КНР издают Центральный документ № 1</u>		Конституция страны: 1999 г. – ст. 104. Сельское хозяйство; 2017 г. – ст. 104а. Продовольственная безопасность: а) <i>внутреннее производство;</i> б) <i>самообеспечение;</i> в) <i>международное сотрудничество;</i> г) <i>поддержка сельских территорий;</i> д) <i>безопасность и качество продовольствия</i>
2008 г. Средне- и долгосрочный план обеспечения национальной продовольственной безопасности (2008–2020 гг.)		
2015 г. Си Цзиньпин озвучил стратегическую инициативу «Большой продовольственный подход» . Включает альтернативные ресурсы и источники питания		
2016 г. Стратегическая программа « Здоровый Китай 2030 »: – гл. 5. Улучшение питания и пищевых привычек; – гл. 10. Безопасность пищевых продуктов; – гл. 15. Здоровые уязвимых групп		1998 г. Федеральный закон о сельском хозяйстве (в ред. 2023 г.) регулирует аграрную политику: <i>устойчивое производство, господдержку, контроль земельных ресурсов, развитие инфраструктуры и др.</i>
2021 г. Закон о противодействии пищевым отходам		2016 г. Стратегия питания на 2017–2024 гг.
2022 г. Рекомендации по питанию для жителей Китая		2024 г. Климатическая стратегия для сельского хозяйства
2024 г. Закон о гарантиях продовольственной безопасности		2025 г. Стратегия питания на 2025–2032 гг.
2025 г. Программа развития продовольствия и питания Китая на 2025–2030 гг.		2025 г. Национальные рекомендации по питанию

Ключевые элементы действующей институциональной архитектуры продовольственной безопасности Китая и Швейцарии

Key elements of the current institutional architecture of food security in China and Switzerland

В **Китае** нами выделены следующие важные элементы институциональной архитектуры продовольственной безопасности:

с 1982 г. – Центральный документ № 1 (ежегодно);

2008 г. – Средне- и долгосрочный план обеспечения национальной продовольственной безопасности (2008–2020 гг.), который впервые определил долгосрочные цели обеспечения продовольственной безопасности Китая [14];

с 2015 г. последовательно реализуется концепция «Большой продовольственный подход» [15]. Данная стратегическая модель обеспечения продовольственной безопасности Китая предложена Си Цзиньпином и далее официально закреплена в документах ЦК КПК и Госсовета КНР. Инициатива до настоящего времени оказывает определяющее влияние на всю аграрную политику Китая. Особенность подхода заключается в переориентации источников питания населения страны с преимущественно зерновых культур (рис, пшеница) на максимально возможную диверсификацию продуктов (включены мясо, рыба, молоко, овощи, фрукты, съедобные насекомые, микропротеины и другие альтернативные белки, в том числе искусственное мясо) и ресурсной базы (включены леса, водоемы, горные районы, городские фермы и др.). Ключевые инструменты: новейшие технологии и глобальная координация (оптимизация импорта, инвестиции в агротехнологии, расширенная экспансия на международных рынках в части расширения ресурсной базы, масштабного привлечения и использования зарубежных технологий внутри страны и экспорта технологических решений при производстве продовольствия для нужд Китая за рубежом) (табл. 2).

В октябре 2016 г. ЦК КПК и Госсовет КНР приняли стратегию «**Здоровый Китай 2030**» [16] (далее – Стратегия 2030), включающую:

гл. 5. Улучшение питания и пищевых привычек (цель – снижение распространенности ожирения и алиментарных заболеваний за счет принятия Рекомендаций по питанию для жителей

Китая, ограничение соли (<5 г/день), сахара (<25 г/день), трансжиров, пропаганда подхода «чистые тарелки», борьба с пищевыми отходами и др.);

гл. 10. Безопасность пищевых продуктов (ужесточение контроля за пестицидами, антибиотиками и добавками, развитие систем прослеживаемости и др.);

гл. 15. Здоровье уязвимых групп (школьные завтраки с балансом белков/витаминов, программа «Школьное молоко», рекомендации по высокобелковым и легкоусвояемым продуктам для пожилых).

Таблица 2. Отличие концепции «Большой продовольственный подход» от традиционного подхода

Table 2. Differences between the “Broad Food Approach” concept and the traditional approach

Критерий	Традиционный подход	Большой продовольственный подход
Акцент	Зерновые (рис, пшеница)	Все возможные источники питания (животные, растительные, микробные, альтернативные)
Ресурсы	Пахотные земли	Все доступные внутренние и внешние ресурсы и технологии производства продовольствия
Цель	Экономическая и физическая доступность продовольствия населению	Качество питания человека (здравье и долголетие) + устойчивые производство, рынки, ресурсы, экология

В числе целевых показателей Стратегии 2030 установлены:

- 100%-й охват питанием в школах;
- снижение на 20 % ожирения у детей и на 30 % смертности от алиментарных болезней и др.

Отраженные в Стратегии 2030 параметры законодательно закреплены в рамках следующих нормативно-правовых документов и рекомендаций:

2020 г. – Национальный план Китая по развитию «зеленого» сельского хозяйства на 2021–2025 гг. [17];

2021 г. – Закон о противодействии пищевым отходам [18]. Основная цель – снижение потерь продовольствия на этапе потребления за счет формирования и пропаганды соответствующей культуры бережливого потребления и социальной ответственности граждан и бизнеса;

2022 г. – Рекомендации по питанию для жителей Китая [19];

2024 г. – Закон КНР о гарантиях продовольственной безопасности [20]. Документ комплексно определяет регулирование всех стадий продовольственной цепи (в том числе требования к качеству зерна, параметры резервной системы, контроль за использованием земельных ресурсов, борьба с деградацией почв и др.);

2025 г. – Программа развития продовольствия и питания на 2025–2030 гг. [21], в которой установлены следующие показатели потребления (на человека в год): бобовые – ≥14 кг, мясо – ≥69, яйца – ≥23, молоко – ≥47, морепродукты – ≥29, овощи – ≥270, фрукты – ≥130 кг. Рекомендованы также суточные нормы: калории – ≈2 150 ккал (мужчины), ≈1 700 ккал (женщины); белок – ≥50 % от общего белка – высококачественный (животный/растительный); пищевые волокна – 25–30 г; масло – ≤25–30; соль – ≤5; добавленный сахар – ≤25 г.

В числе ключевых задач Стратегии 2030 обозначены: увеличение предложения и потребления животного белка (мясо, яйца, молоко); содействие потреблению продуктов, богатых пищевыми волокнами; стимулирование высококачественной переработки сырья с сохранением и обогащением питательными веществами; пропаганда здорового потребления; поддержка инициативы «Три категории качества – одна сертификация» (включает добровольные стандарты (три категории качества): «экологически чистые», «органические», «продукт с географическим указанием». При этом сохраняется один обязательный базовый стандарт (одна сертификация) для всех продуктов на рынке Китая).

Представленный выше институциональный срез архитектуры продовольственной безопасности Китая – это только верхушка айсберга в системе организационно-экономического обеспечения населения продовольствием. Уместно также упомянуть ряд связанных и обусловленных инициатив: «Месяц здорового образа жизни», «Неделя питания», «День здорового питания китайских студентов», «Фестиваль урожая китайских крестьян»; популяризация региональных

пищевых продуктов и нематериального культурного наследия, связанного с кулинарией; национальный банк генетических ресурсов; система резерва семян; система мониторинга продовольственной безопасности; планы реагирования на чрезвычайные ситуации и кризисы; политика решения трех сельских проблем (сельского хозяйства, сельских районов и крестьян); программа «Зерновой коридор»; «Белая книга: достижения Китая в области продовольственной безопасности»; Прогнозный доклад по сельскому хозяйству Китая на 2025–2034 гг.; положения по управлению оборотом и центральными резервами зерна; план мероприятий по углублению реформы системы управления качеством зерна и многие другие.

Швейцария через собственную Конституцию обеспечила наиболее высокий уровень институционального проектирования национальной продовольственной безопасности. Так, включенные в Конституцию страны статьи имеют следующее содержание (перевод с английской версии в редакции от 13 февраля 2022 г.).

Ст. 104. Сельское хозяйство.

Государство способствует тому, чтобы сельскохозяйственный сектор посредством устойчивой и ориентированной на рынок производственной политики вносил существенный вклад:

- а) в надежное снабжение населения продовольствием;
- б) сохранение природных ресурсов и поддержание сельского ландшафта;
- в) децентрализованное расселение населения по территории страны.

В дополнение к ожидаемым мерам самопомощи в сельском хозяйстве и при необходимости, в отступление от принципа экономической свободы, оказывается поддержка хозяйствам, возделывающим землю.

Государство организует меры таким образом, чтобы сельскохозяйственный сектор выполнял свои многофункциональные задачи, в частности обладает следующими полномочиями и обязанностями:

- а) дополняет доходы от сельского хозяйства посредством прямых субсидий с целью достижения справедливого и надлежащего вознаграждения за предоставленные услуги при наличии доказательств соблюдения экологических требований;
- б) посредством экономически выгодных стимулов поощряет методы производства, максимально приближенные к природным и уважающие как окружающую среду, так и животных;
- в) устанавливает законодательные нормы в отношении указания происхождения, качества, методов производства и процедур переработки продуктов питания;
- г) защищает окружающую среду от вредного воздействия чрезмерного применения удобрений, химикатов и других вспомогательных средств;
- д) поощряет аграрные научные исследования, консультирование и образование, а также субсидирует инвестиции;
- е) по своему усмотрению устанавливает законодательство по укрупнению сельскохозяйственных земельных участков.

В этих целях в Швейцарии используются как специальные средства, предназначенные для аграрного сектора, так и общие федеральные фонды.

Ст. 104а. Продовольственная безопасность.

С целью гарантии продовольственного обеспечения населения государство создает необходимые условия:

- а) для защиты основы сельскохозяйственного производства, в частности сельскохозяйственных земель;
- б) производства продуктов питания, адаптированных к местным условиям и эффективно использующих природные ресурсы;
- в) функционирования аграрного и пищевого сектора, отвечающего требованиям рынка;
- г) трансграничных торговых отношений, способствующих устойчивому развитию аграрного и пищевого сектора;
- д) рационального использования продуктов питания с учетом необходимости сохранения природных ресурсов [13].

Анализ показывает, что указанные выше нормы Конституции оказывают существенное влияние на сельское хозяйство и продовольственное обеспечение населения Швейцарии, а статьи

104 и 104а в полной мере реализованы к настоящему моменту посредством серии законодательных инициатив и связанных нормативных актов и политик, важнейшие из которых следующие: Федеральный закон о сельском хозяйстве (действует в 1998 г., при этом постоянно обновляется и дополняется) [22]; Климатическая стратегия для сельского хозяйства до 2050 года [23, 24]; Стратегия питания на 2017–2024 гг. [25]; Стратегия питания на 2025–2032 гг. [26]; Стратегия пищевой цепи [27]; Национальные рекомендации по питанию [28] и другие представленные в указанных документах механизмы и меры полностью раскрывают цели, задачи, меры и инструменты государственной поддержки и стимулирования национальных товаропроизводителей, обеспечения надежных поставок продовольствия и снижения зависимости от импорта, создания и поддержания резерва сельскохозяйственных земель, ежегодного мониторинга угроз продовольственной безопасности и др.

Выводы. Таким образом, представленный краткий анализ институциональной архитектуры Китая и Швейцарии в полной мере подтверждает значимость и высокую актуальность развития собственных для Республики Беларусь законодательных инициатив (в первую очередь новой редакции Доктрины продовольственной безопасности до 2040 г.) с целью планомерного проектирования устойчивости национальной продовольственной безопасности нашего государства на средне- и долгосрочную перспективу.

Значимые успехи Китая и Швейцарии подчеркивают важность законодательной базы, долгосрочных стратегий и инвестиций в технологии и человеческий капитал. Для Беларуси эти модели имеют важное прикладное значение, так как могут быть адаптированы в контекстах усиления экспортного потенциала, внедрения новейших технологий производства продовольствия, оптимизации управления АПК. Опыт Китая и Швейцарии важно изучать и использовать при обосновании комплексных решений, направленных на преодоление современных вызовов продовольственной безопасности, включая климатические изменения, трансформацию глобальных цепочек поставок и рост спроса на качественное питание.

Список использованных источников

1. Agricultural policy monitoring and evaluation 2024: innovation for sustainable productivity growth / OECD. – Paris: OECD Publ., 2024. – 657 p. <https://doi.org/10.1787/74da57ed-en>
2. China Statistical Yearbook 2024 // National Bureau of Statistics of China. – URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexeh.htm> (date of access: 18.02.2025).
3. Global Food Security Index 2022 // Economist Impact. – URL: https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Global_Report_Sep_2022.pdf (date of access: 18.02.2025).
4. China's grain storage capacity exceeds 700m tons by end of 2023 // ChinaDaily. – URL: <https://www.chinadailyhk.com/hk/article/584685> (date of access: 18.02.2025).
5. The state of food security and nutrition in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets / Food and Agriculture Organization of the UN [et al.]. – Rome: FAO. – 287 p. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
6. Statistics // Switzerland's National Center of Competence for Official Statistics. – URL: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics.html> (date of access: 18.02.2025).
7. Рейтинг стран Европы по расходам на еду // РИА Новости. – URL: <https://ria.ru/20221212/eda-1837512329.html> (дата обращения: 17.02.2025).
8. Switzerland Production // USDA Foreign Agricultural Service. – URL: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/default.aspx?id=SZ> (date of access: 18.02.2025).
9. Производство мяса в мире по странам и на душу населения // Агромикс. – URL: <https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa-po-stranam/> (дата обращения: 24.04.2025).
10. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: [сайт]. – URL: <https://www.fao.org/home/ru> (дата обращения: 10.03.2025).
11. 中共中央国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作意见 // The State Council the People's Republic of China. – URL: https://www.gov.cn/zhengce/202302/content_6754061.htm (date of access: 07.04.2025).
12. Federal Constitution of the Swiss Confederation of 18 April 1999 // Swiss Government Portal. – URL: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/404/en#preamble> (date of access: 12.02.2025).
13. Федеральная Конституция Швейцарской конфедерации от 18.04.1999 г. (по состоянию на 13.02.2022 г.) // WIPO. – URL: <https://www.wipo.int/wipolex/ru/legislation/details/21388> (date of access: 17.04.2025).
14. National food security mid-term and long-term planning framework (2008–2020) // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC156532/> (date of access: 17.04.2025).
15. 深刻理解和践行大食物观(人民日报5月6日第9版) // Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. – URL: http://www.moa.gov.cn/ztzl/ymksn/rmrbbd/202405/t20240506_6454859.htm (date of access: 17.04.2025).

16. 中共中央 国务院印发 《“健康中国 2030”规划纲要》// The State Council the People's Republic of China. – URL: http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm (date of access: 17.04.2025).
17. 农业农村部 国家发展改革委 科技部 自然资源部 生态环境部 国家林草局关于印发 《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知 // Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. – URL: http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm (date of access: 16.04.2025).
18. Anti-food Waste Law of China (2021) [反食品浪费法]: Law of China, 29 Apr. 2021 // China Laws Portal – CJO. – URL: <https://www.chinajusticeobserver.com/law/x/anti-food-waste-law-of-the-peoples-republic-of-china20210429/enchn> (date of access: 16.04.2025).
19. 中国居民膳食指南 2022 / 中国营养学会. –北京: 人民卫生出版社, 2022. – 360 p. = Dietary guidelines for Chinese residents 2022 / Chinese Nutrition Soc. – Beijing: People's Medical Publ. House, 2022. – 360 p. – URL: <https://www.gxcdc.org.cn/html/jkfw/2024/0322/14716.html> (date of access: 16.04.2025).
20. Grain Security Guarantee Law of the People's Republic of China // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chn223345.pdf> (date of access: 16.04.2025).
21. 农业农村部 国家卫生健康委 工业和信息化部关于印发《中国食物与营养发展纲要 (2025–2030年)》的通知 // Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. – URL: http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJYJS/202503/t20250317_6471803.htm (date of access: 16.04.2025).
22. Loi fédérale sur l'agriculture (Loi sur l'agriculture, LAg) // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC016918> (date of access: 16.04.2025).
23. Bericht “Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik” (Postulate 20.3931 und 21.3015). – URL: <https://backend.blw.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-blwch-files/files/2024/11/13/337dd4aa-0e53-49b2-857e-35134e21c7a9.pdf> (date of access: 11.12.2024).
24. Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik: Bericht des Bundesrates in Erfüllung der Postulate 20.3931 der WAK-S vom 20. August 2020 und 21.3015 der WAK-N vom 2. Februar 2021 // The Swiss Parliament. – URL: <https://www.parlament.ch/centers/eparl/curia/2020/20203931/Bericht%20BR%20D.pdf> (date of access: 11.12.2024).
25. Geniessen und gesund bleiben. Schweizer Ernährungsstrategie 2017–2024 // Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV. – URL: <http://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/schweizer-ernaehrungsstrategie-2017-2024.PDF> (date of access: 11.12.2024).
26. Schweizer Ernährungsstrategie 2025–2032 // Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV. – URL: https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/das-blv/strategien/schweizer-ernaehrungsstrategie-2025-2032.pdf.download.pdf/Schweizer-Ern%C3%A4hrungsstrategie-2025-2032_DE.pdf (date of access: 11.12.2024).
27. Food Chain Strategy // Federal Food Safety and Veterinary Office. – URL: <https://www.blv.admin.ch/blv/en/home/das-blv/strategien/strategie-lebensmittelkette.html> (date of access: 16.04.2025).
28. Swiss Dietary Recommendations // Federal Food Safety and Veterinary Office. – URL: <https://www.blv.admin.ch/blv/en/home/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/empfehlungen-informationen/schweizer-ernaehrungsempfehlungen.html> (date of access: 16.04.2025).

References

1. OECD. *Agricultural policy monitoring and evaluation 2024: innovation for sustainable productivity growth*. Paris, OECD Publishing, 2024. 657 p. <https://doi.org/10.1787/74da57ed-en>
2. China Statistical Yearbook 2024. *National Bureau of Statistics of China*. Available at: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexeh.htm> (accessed 18 February 2025).
3. Global Food Security Index 2022. *Economist Impact*. Available at: https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Global_Report_Sep_2022.pdf (accessed 18 February 2025).
4. China's grain storage capacity exceeds 700m tons by end of 2023. *ChinaDaily*. Available at: <https://www.chinadailyhk.com/hk/article/584685> (accessed 18 February 2025).
5. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets*. Rome, FAO. 287 p. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
6. Statistics. *Switzerland's National Center of Competence for Official Statistics*. Available at: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics.html> (accessed 18 February 2025).
7. Ranking of European countries by food expenditures. *RIA Novosti*. Available at: <https://ria.ru/20221212/eda-1837512329.html> (accessed 17 February 2025) (in Russian).
8. Switzerland Production. *USDA Foreign Agricultural Service*. Available at: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/default.aspx?id=SZ> (accessed 18 February 2025).
9. Meat production worldwide by country and per capita. *Agromiks* [Agromix]. Available at: <https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa-po-stranam/> (accessed 24 April 2025) (in Russian).
10. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Available at: <https://www.fao.org/home/en> (accessed 10 March 2025).
11. 中共中央国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作意见 [Opinions of the Central Committee of the CPC and the State Council on fulfilling the key work of comprehensively promoting rural revitalization in 2023]. *The State Council the People's Republic of China*. Available at: https://www.gov.cn/zhengce/202302/content_6754061.htm (accessed 7 April 2025) (in Chinese).
12. Federal Constitution of the Swiss Confederation of 18 April 1999. *Swiss Government Portal*. Available at: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/404/en#preamble> (accessed 12 February 2025).

13. Federal Constitution of the Swiss Confederation of April 18, 1999 (status as of February 13, 2022). *WIPO*. Available at: <https://www.wipo.int/wipolex/en/legislation/details/21388> (accessed 17 April 2025).

14. National food security mid-term and long-term planning framework (2008–2020). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Available at: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC156532/> (accessed 17 April 2025) (in Chinese).

15. 深刻理解和践行大食物观 (人民日报5月6日第9版) [Deeply understand and practice the concept of a Broad Food Perspective (People's Daily, May 6, Page 9)]. *Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China*. Available at: http://www.moa.gov.cn/ztzl/ymksn/rmrbbd/202405/t20240506_6454859.htm (accessed 17 April 2025) (in Chinese).

16. 中共中央 国务院印发 《“健康中国 2030”规划纲要》[The CPC Central Committee and the State Council issued the “Healthy China 2030” planning outline]. *The State Council the People's Republic of China*. Available at: http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm (accessed 17 April 2025) (in Chinese).

17. 农业农村部 国家发展改革委 科技部 自然资源部 生态环境部 国家林草局关于印发 《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知 [Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Development and Reform Commission, the Ministry of Science and Technology, the Ministry of Natural Resources, the Ministry of Ecology and Environment, and the National Forestry and Grassland Administration on issuing the “14th Five-Year National Agricultural Green Development Plan”]. *Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China*. Available at: http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm (accessed 16 April 2025) (in Chinese).

18. Anti-food Waste Law of China (2021) [反食品浪费法]: Law of China, 29 April 2021. *China Laws Portal – CJO*. Available at: <https://www.chinajusticeobserver.com/law/x/anti-food-waste-law-of-the-peoples-republic-of-china20210429/enchn> (accessed 16 April 2025).

19. Chinese Nutrition Society. *Dietary guidelines for Chinese residents* 2022. Beijing, People's Medical Publishing House, 2022. 360 p. Available at: <https://www.gxcdc.org.cn/html/jkfw/2024/0322/14716.html> (accessed 16.04.2025) (in Chinese).

20. Grain Security Guarantee Law of the People's Republic of China. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Available at: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chn223345.pdf> (accessed 16 April 2025) (in Chinese).

21. 农业农村部 国家卫生健康委 工业和信息化部关于印发《中国食物与营养发展纲要 (2025–2030年)》的通知 [Notice from the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Health Commission, and the Ministry of Industry and Information Technology on Issuing the “Outline for Food and Nutrition Development in China (2025–2030)”]. *Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China*. Available at: http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202503/t20250317_6471803.htm (accessed 16 April 2025) (in Chinese).

22. Loi fédérale sur l'agriculture (Loi sur l'agriculture, LAg). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Available at: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC016918> (accessed 16.04.2025) (in French).

23. Bericht “Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik” (Postulate 20.3931 und 21.3015). Available at: <https://backend.blw.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-blwch-files/files/2024/11/13/337dd4aa-0e53-49b2-857e-35134e21c7a9.pdf> (accessed 11 December 2024) (in German).

24. Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik: Bericht des Bundesrates in Erfüllung der Postulate 20.3931 der WAK-S vom 20. August 2020 und 21.3015 der WAK-N vom 2. Februar 2021. *The Swiss Parliament*. Available at: <https://www.parlament.ch/centers/eparl/curia/2020/20203931/Bericht%20BR%20D.pdf> (accessed 11 December 2024) (in German).

25. Geniessen und gesund bleiben. Schweizer Ernährungsstrategie 2017–2024. *Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV*. Available at: <http://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/schweizer-ernaehrungsstrategie-2017-2024.PDF> (accessed 11 December 2024) (in German).

26. Schweizer Ernährungsstrategie 2025–2032. *Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV*. Available at: https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/das-blv/strategien/schweizer-ernaehrungsstrategie-2025-2032.pdf.download.pdf/Schweizer-Ern%C3%A4hrungsstrategie-2025-2032_DE.pdf (accessed 11 December 2024) (in German).

27. Food Chain Strategy. *Federal Food Safety and Veterinary Office*. Available at: <https://www.blv.admin.ch/blv/en/home/das-blv/strategien/strategie-lebensmittelkette.html> (accessed 16 April 2025).

28. Swiss Dietary Recommendations. *Federal Food Safety and Veterinary Office*. Available at: https://www.sge-ssn.ch/media/ct_protected_attachments/3be4a2b2ee4c303817e5b4b9521393/Schweizer-Ernahrungssempfehlungen_Langversion_EN.pdf (accessed 16 April 2025).

Информация об авторе

Пилипук Андрей Владимирович – член-корреспондент Национальной академии наук Беларусь, доктор экономических наук, профессор, директор Института системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларусь (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000-0002-2770-939X>. E-mail: agrecinst@mail.belpak.by

Information about the author

Andrei V. Pilipuk – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sc. (Economics), Professor, Director of the Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103, Kazinets St., 220108, Minsk, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-2770-939X>. E-mail: agrecinst@mail.belpak.by

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 338.439.02:613.2(476)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-16-34>

Поступила в редакцию 05.08.2025

Received 05.08.2025

Г. В. Гусаков, Л. Т. Ёнчик, Л. И. Довнар

*Институт мясно-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларусь,
Минск, Республика Беларусь*

**РЫНОК СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ:
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Несбалансированность рационов питания населения в современных условиях, характеризующаяся избыточным потреблением соли, насыщенных жиров и сахара, недостатком сложных углеводов, полиненасыщенных жирных кислот, микро- и макроэлементов приводит к нарушениям физического развития, напряженности обменных процессов и адаптационных механизмов в организме человека, что подтверждается ежегодным ростом числа неинфекционных заболеваний. В данной связи формирование продовольственной среды, способствующей полноценному, сбалансированному и здоровому питанию всех категорий населения, выступает в качестве одного из приоритетов национальной политики. Разработана методика оценки и прогнозирования потенциала развития рынка специализированных продуктов питания, объединяющая в себе цель и задачи, принципы и методы, алгоритм и систему критериев и показателей оценки развития составляющих рыночных сегментов. Методика апробирована на примере сегментов детского, спортивного, диетического лечебного и профилактического питания в Республике Беларусь, что позволило оценить их потенциальную емкость с учетом определяющих факторов формирования рынка и обосновать комплекс направлений перспективного развития. Практическая значимость разработки состоит в ее направленности на повышение физической и экономической доступности специализированных продуктов питания для целевых групп потребителей за счет создания в стране необходимых социально-экономических условий, обеспечивающих эффективную интеграцию научной, производственной и торговой сфер в направлении совершенствования системы разработки, коммерциализации, внедрения и продвижения инновационных продуктов при активной регулирующей и координирующей роли государства.

Ключевые слова: специализированные продукты питания, национальная политика здорового питания, принципы формирования рынка, методика, потенциальная емкость сегментов рынка, перспективные направления развития

Для цитирования: Гусаков, Г. В. Рынок специализированных продуктов питания: оценка потенциала и перспектив развития в Республике Беларусь / Г. В. Гусаков, Л. Т. Ёнчик, Л. И. Довнар // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 16–34. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-16-34>

Gordey V. Gusakov, Liliya T. Yonchik, Lyudmila I. Dovnar

Institute for the Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**SPECIALIZED FOOD MARKET: ASSESSMENT OF POTENTIAL
AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. The imbalance of the population's diets in the modern conditions is characterized by excessive intake of salt, saturated fats and sugar, deficiency of complex carbohydrates, polyunsaturated fatty acids, micro- and macronutrients. This leads to impaired physical development, tension of metabolic processes and adaptation mechanisms in the human body, as evidenced by the annual increase in noninfectious diseases. In this regard, making a food environment that contributes to full, balanced and healthy diet for all categories of the population is one of the priorities of national policy. A methodology has been developed for assessing and predicting the development potential of the specialized food market, that combines goal and objectives, principles and methods, an algorithm and a system of criteria and indicators for assessing the market segments development. The methodology was tested based on example of the segments of children's, sports, dietary therapeutic and preventive nutrition in the Republic of Belarus, which allowed to assess potential market capacity, taking into account the determinants of market formation and substantiate a set of promising development directions. The practical significance of the development lies in its focus on increasing the physical and economic accessibility of specialized food products to consumer target groups by creating the necessary socio-economic conditions in the country that ensure effective integration

of scientific, industrial and trade spheres in the direction of improving the system of development, commercialization, introduction and promotion of innovative products with active regulatory and coordinating role of the state.

Keywords: specialized food products, national policy of healthy nutrition, principles of market formation, methodology, potential capacity of market segments, promising areas for development

For citation: Gusakov G. V., Yonchik L. T., Dovnar L. I. Specialized food market: assessment of potential and prospects for development in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 16–34 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-16-34>

Введение. Доктриной национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года определено, что стратегия устойчивого обеспечения населения продовольствием на долгосрочную перспективу направлена на достижение физической и экономической доступности безопасных и качественных продуктов питания, необходимых для активного и здорового образа жизни, для всех категорий населения¹. Реализация государственной политики в области здорового питания, учитывающей социально-экономические факторы и демографическую структуру населения, а также актуальные тенденции в питании населения, формирующиеся с появлением новых знаний в сфере нутрициологии и смежных отраслях, выступает в качестве одного из направлений по укреплению национальной продовольственной безопасности. В то же время в Беларуси отмечается несбалансированность питания населения, характеризующаяся избыточным потреблением соли, насыщенных жиров и сахара, недостатком содержания в суточных рационах сложных углеводов, полиненасыщенных жирных кислот, микро- и макроэлементов, что негативно отражается на здоровье человека [1].

Данный факт подтверждает ежегодный рост в стране числа зарегистрированных случаев неинфекционных заболеваний, связанных с образом жизни и питанием населения. Количество случаев выявленных новообразований в расчете на 100 тыс. человек населения за период с 2020 по 2024 г. увеличилось на 47,9 %, болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ – на 78,1 %, болезней органов пищеварения – на 21,1 %.

Вышеуказанное свидетельствует о необходимости формирования в стране продовольственной среды, способствующей полноценному, сбалансированному и здоровому питанию всех категорий населения, что должно быть обеспечено за счет насыщения внутреннего рынка функциональными и специализированными пищевыми продуктами, обогащенными биологически ценными ингредиентами, а также их популяризации среди населения.

Анализ показывает, что мировой рынок функциональных продуктов питания динамично развивается, о чем говорят высокие темпы его роста, прогнозируемые на уровне свыше 10 % в год на период до 2033 г.² Основными факторами, стимулирующими расширение рынка, являются: увеличение количества и частоты распространения неинфекционных заболеваний, в частности ожирения, сахарного диабета, болезней сердечно-сосудистой системы и органов пищеварения; рост продолжительности жизни населения, в связи с чем повышается потребность в продуктах здорового долголетия; увеличение спроса на натуральные и органические пищевые продукты; стремление потребителей к персонализации питания, что обуславливает повышенный интерес к обогащенной продукции. Вместе с тем сдерживают рост рынка высокая стоимость функциональных продуктов по сравнению с традиционными, а также скептицизм и низкое доверие потенциальных потребителей в отношении научной обоснованности пользы для здоровья отдельных функциональных компонентов.

В Республике Беларусь рынок специализированных продуктов питания развивается в соответствии с глобальными тенденциями. В стране имеется значительный научный задел и производственный потенциал для его развития, но вместе с тем отсутствует действенный механизм регулирования направлений товарной политики в данном рыночном сегменте, включая монито-

¹ О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 15 дек. 2017 г. № 962 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700962> (дата обращения: 02.06.2025).

² Глобальный размер рынка функциональных продуктов питания. URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/global-functional-foods-market-size-and-forecast-to-2025/> (дата обращения: 12.06.2025).

ринг состояния спроса и предложения на указанную категорию пищевых продуктов, инструменты стимулирования отечественного производства и сбыта на внутреннем рынке. Как следствие, наблюдается недостаточная осведомленность населения республики о специализированных продуктах питания, отсутствие четкой политики продвижения продуктов на рынок, ориентированных на определенный сегмент потребителей.

Изучение научных публикаций отечественных и зарубежных ученых показывает, что вопросы формирования, функционирования и развития продовольственного рынка в контексте фундаментальных положений и экономических механизмов его регулирования, а также обеспечения национальной продовольственной безопасности исследованы достаточно широко и системно. Теоретические, методологические и практические аспекты развития национального и региональных агропродовольственных рынков Республики Беларусь представлены в трудах В. Г. Гусакова, З. М. Ильиной, Н. В. Киреенко, С. А. Кондратенко, А. В. Пилипчука, Л. В. Лагодич, Э. А. Петровича, Л. Н. Байгот, В. И. Бельского [2–10], Российской Федерации – освещены в работах А. И. Алтухова, И. Г. Ушачева, С. О. Сиптиц, А. А. Тамова, И. А. Минакова, Г. М. Зинчук, Т. В. Гомелько, О. Н. Фетюхиной, С. У. Нуралиева и др. [11–19]. Теоретико-методологические аспекты функционального, специализированного и персонализированного питания исследованы такими отечественными и зарубежными учеными, как З. В. Ловкис, Е. М. Моргунова, В. В. Шилов, А. Н. Батян, О. В. Сычева, А. К. Батурина, М. Ю. Сидоренко, которыми обоснованы основные концептуальные положения питания населения в современных условиях, учитывающие актуальные потребительские предпочтения [20–27].

Вышеизложенное обуславливает необходимость разработки методологического подхода к оценке и прогнозированию параметров развития рынка специализированных продуктов питания, включающего поэтапный алгоритм и систему показателей оценки в разрезе групп определяющих факторов и сегментов рынка, применение которого позволит проводить мониторинг влияния факторов на потенциал рынка в разрезе сегментов пищевой продукции для детского питания, питания спортсменов, диетического лечебного и профилактического питания, а также обосновывать ключевые направления, комплекс мер перспективного развития рынка и инструментов его регулирования, направленных на стимулирование спроса, предложения и обеспечение сбалансированности.

Цель работы – обосновать целевые параметры и направления перспективного развития рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь в разрезе сегментов детского, спортивного, диетического лечебного и профилактического питания на основе разработанной методики оценки и прогнозирования потенциала рынка с учетом комплекса определяющих факторов.

Оценка потенциала и перспектив развития рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь.

Основными национальными документами, в которых определены требования к специализированной пищевой продукции, являются Закон Республики Беларусь «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека»¹, Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенический норматив «Показатели безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов»², Санитарные нормы и правила «Требования для организаций, осуществляющих произ-

¹ О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека»: Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2018 г. № 127-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11800127> (дата обращения: 03.06.2025).

² Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 21 июня 2013 г., № 52 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21327668p> (дата обращения: 03.06.2025).

водство пищевой продукции для детского питания»¹. Кроме того, в стране определены критерии отнесения специализированных пищевых продуктов².

Техническое регулирование специализированной пищевой продукции в Беларуси как государстве – члене Евразийского экономического союза основано на действующих технических регламентах Таможенного союза:

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», который определяет содержание понятий «пищевая продукция диетического лечебного питания», «пищевая продукция диетического профилактического питания», «пищевая продукция для детского питания», «пищевая продукция для питания спортсменов», требования безопасности к специализированной пищевой продукции (для детского питания, для беременных и кормящих женщин), порядок ее государственной регистрации и внесения сведений о государственной регистрации в Единый реестр специализированной пищевой продукции¹;

ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания», устанавливающий требования безопасности (в том числе санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования), требования к упаковке и маркировке, требования к процессам производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации специализированной пищевой продукции для питания спортсменов, беременных и кормящих женщин, пищевой продукции диетического лечебного и диетического профилактического питания, в том числе для детского питания².

В области стандартизации функциональных и специализированных продуктов в стране действует СТБ 1818-2007 «Пищевые продукты функциональные. Термины и определения»³, межгосударственный стандарт ГОСТ 34006-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая для питания спортсменов. Термины и определения»⁶.

Согласно ТР ТС 021/2011 специализированная пищевая продукция определяется как «продукция, для которой установлены требования к содержанию и (или) соотношению отдельных веществ или всех веществ и компонентов и (или) изменено содержание и (или) соотношение отдельных веществ относительно естественного их содержания в такой пищевой продукции и (или) в состав включены не присутствующие изначально вещества или компоненты (кроме пищевых добавок и ароматизаторов) и (или) изготовитель заявляет об их лечебных и (или) профилактических свойствах, и которая предназначена для целей безопасного употребления этой пищевой продукции отдельными категориями людей». При этом основными видами специализированной пищевой продукции являются:

- продукция диетического профилактического питания, в том числе для детского питания;
- продукция диетического лечебного питания, в том числе для детского питания;
- продукция для питания беременных и кормящих женщин;
- продукция для детского питания;
- продукция для питания спортсменов.

¹ Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования для организаций, осуществляющих производство пищевой продукции для детского питания» и признании утратившим силу постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 24 июня 2009 г. № 71: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 3 июня 2013 г. № 42 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21327605p> (дата обращения: 03.06.2025).

² О критериях отнесения специализированных пищевых продуктов: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 6 апр. 2022 г. № 28 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22237904> (дата обращения: 05.06.2025).

¹ О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011: вступ. в силу 01.07.2013 / Евраз. экон. комис. Мин.: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. IX, 196 с.

² О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания: ТР ТС 027/2012: вступ. в силу 01.07.2013 / Евраз. экон. комис. Мин.: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. V, 18 с.

³ Пищевые продукты функциональные. Термины и определения = Харчовыя прадукты функцыянальныя. Тэрміны і азначэнні: СТБ 1818-2007. Введ. 01.07.2008. Мин.: Госстандарт: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. IV, 5 с.

⁶ Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая для питания спортсменов. Термины и определения: ГОСТ 34006-2016. Введ. 01.07.2018. Мин.: Госстандарт: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. III, 7 с.

Помимо общих требований безопасности, которым должны соответствовать все пищевые продукты, к отдельным видам специализированной пищевой продукции (для питания беременных и кормящих женщин, детей раннего возраста, спортсменов и др.) предъявляются дополнительные требования, приведенные в ТР ТС 027/2012. Пищевая продукция диетического лечебного и диетического профилактического питания должна удовлетворять физиологическим потребностям организма человека в необходимых пищевых веществах и энергии с учетом факторов риска и патогенеза заболеваний, соответствовать установленным гигиеническим требованиям по допустимому содержанию контаминаントов и биологически активных веществ и соединений, микроорганизмов и других биологических организмов, представляющих опасность для здоровья потребителей.

С целью обоснования перспективных параметров и направлений развития рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь разработана методика оценки и прогнозирования его потенциала, которая учитывает основные положения Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года, Государственной программы «Здоровье народа и демографическая безопасность» на 2021–2025 годы¹ и Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы², правовых документов в области технического регулирования и стандартизации в отношении специализированных продуктов питания.

Методика включает в себя поэтапный алгоритм и систему критериев и показателей оценки развития рыночных сегментов в разрезе групп определяющих факторов и позволяет осуществлять оценку целевых параметров развития рынка специализированных продуктов питания на мясной и молочной основе, обосновывать перспективные направления и комплекс стимулирующих мер его развития.

Цель методики заключается в установлении перспективных параметров, обосновании направления развития и инструментов регулирования рынка специализированных продуктов питания.

Задачи методики:

- определить целевые группы потребителей специализированных продуктов питания;
- выявить обеспечивающие и содержащие факторы развития сегментов рынка специализированных продуктов питания;
- оценить потенциальную емкость внутреннего потребительского рынка в разрезе сегментов специализированных продуктов питания;
- определить перспективные направления развития рынка специализированных продуктов питания с учетом установленных целевых параметров;
- обосновать инструменты и комплекс мер по достижению целевых параметров развития рынка.

Методика базируется на *принципах*: взаимосвязи питания и здоровья; инновационности; технологичности; адаптивности по отношению к потребностям населения и демографическим тенденциям; персонализации питания; четкой сегментации рынка по социально-демографическим признакам; соответствия органолептических свойств продуктов потребительским представлениям о традиционных продуктах питания.

При оценке и прогнозировании потенциала развития рынка специализированных продуктов питания на мясной и молочной основе использовались *методы*: экспертных оценок; экстраполяции; статистические; программно-целевой.

Методика включает поэтапный алгоритм.

Первый этап предполагает постановку задач исследования, определение критериев оценки и особенностей объекта оценки. Критерии оценки дифференцированы в зависимости от сегмента рынка и учитывают его важнейшие особенности.

¹ О Государственной программе «Здоровье народа и демографическая безопасность» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 19 янв. 2021 г., № 28 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100028> (дата обращения: 02.06.2025).

² О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Респ. Беларусь от 15 сент. 2021 г. № 348 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100348> (дата обращения: 02.06.2025).

1. Сегмент специализированной пищевой продукции для детского питания:

- обеспеченность детского населения специализированными продуктами питания на достаточном уровне;
- доля отечественных продуктов на потребительском рынке на уровне 80 %;
- среднегодовой темп прироста емкости внутреннего рынка на уровне не ниже 2 %;
- соответствие темпов роста объема производства динамике спроса.

2. Сегмент специализированной пищевой продукции для питания спортсменов:

- положительный темп прироста: количества новых продуктов отечественного производства, выведенных на рынок; числа производителей, представленных на рынке; объемов реализации на внутреннем рынке специализированных продуктов для питания спортсменов отечественного производства; объемов госзакупок специализированного питания для профильных спортивных заведений, национальных команд;
- соотношение темпов роста объема реализации специализированных продуктов питания для спортсменов и численности населения, занимающегося спортом.

3. Сегмент специализированной пищевой продукции диетического лечебного и профилактического питания:

- положительный темп прироста: количества новых продуктов отечественного производства, выведенных на рынок; числа производителей, представленных на рынке;
- достаточный уровень обеспеченности продукцией медицинских, социальных учреждений и учреждений образования;
- положительный прирост доли отечественных продуктов на внутреннем потребительском рынке.

Необходимым условием развития указанных сегментов является высокий уровень инновационной восприимчивости отечественных предприятий мясо- и молокоперерабатывающей промышленности в направлении разработки и продвижения на рынок новых продуктов специализированного питания.

На *втором этапе* определяется перечень показателей для оценки сегментов рынка с учетом их особенностей. Так, для сегмента специализированной пищевой продукции для детского питания оценочные показатели объединены в следующие группы: демографические, социально-экономические, развития внутреннего потребительского рынка, производственно-технологического и инновационного потенциала предприятий, развития конкурентной среды; для питания спортсменов – социально-демографические, развития спортивной инфраструктуры, развития внутреннего потребительского рынка, производственно-технологического и инновационного потенциала предприятий, развития конкурентной среды; продукции диетического лечебного и профилактического питания – медико-демографические, социально-экономические, развития социальной инфраструктуры, развития внутреннего потребительского рынка, производственно-технологического и инновационного потенциала предприятий, развития конкурентной среды.

В рамках *третьего этапа* определяются целевые группы потребителей. В сегменте детского питания выделяются группы потребителей раннего возраста, в том числе младенческого (от рождения до 6 мес.; 7–12 мес.; от 1 года до 3 лет) и дошкольного (от 3 до 6 лет); школьного возраста (младшего – от 6 до 12 лет; старшего – от 13 до 18 лет). Потребители спортивного питания сегментируются на две группы: спорт высших достижений (профессиональный и др.) и любительский спорт (общедоступный и др.). Среди потребителей продуктов диетического лечебного и профилактического питания выделяются пациенты, нуждающиеся в энтеральном питании; беременные и кормящие женщины; население пожилого и старческого возраста; население с алиментарно-зависимыми заболеваниями; население с заболеваниями группы ферментопатий.

На *четвертом этапе* по результатам выполненного анализа функционирования рынка специализированных продуктов питания выявляются основные обеспечивающие и сдерживающие факторы, оказывающие влияние на развитие отдельных рыночных сегментов, что сформирует аналитическую базу для разработки направлений перспективного их развития и мер по достижению целевых показателей.

Реализация *пятого этапа* предусматривает расчет потенциальной емкости внутреннего рынка специализированных продуктов питания в разрезе сегментов с учетом рекомендованных норм потребления и численности целевых групп потребителей.

Результатом *шестого этапа* является разработка направлений и комплекса стимулирующих мер по развитию рынка, включая меры, направленные на развитие производства в стране специализированных продуктов питания, стимулирование спроса, совершенствование научного обеспечения, а также механизмы и инструменты государственного регулирования.

Применение предложенной методики позволило определить цели и задачи формирования рынка специализированных продуктов питания в разрезе сегментов, объемы годовой потребности внутреннего рынка в продукции и направления решения задач по обеспечению устойчивого развития сегментов.

1. *Сегмент специализированной пищевой продукции для детского питания* является наиболее развитым направлением в Республике Беларусь. На внутреннем рынке присутствуют продукты белорусского производства для детей как раннего, так и дошкольного и школьного возраста.

В сегменте продуктов для питания детей раннего возраста представлена продукция на молочной основе (сухая молочная смесь, сухая молочная каша, молочная питьевая каша, молочные коктейли, молоко, кефир, творог, йогурт, йогурт питьевой, биолакт, бифидопродукт), с добавлением молочного ингредиента (фруктовое пюре с молочным компонентом – йогуртом, сливками, творогом; коктейль фруктово-молочный), мясная и мясорастительная (консервы мясные, консервы мясо-растительные). Производителями в указанном сегменте являются: Волковысское ОАО «Беллакт», ОАО «Рогачевский молочноконсервный комбинат», ООО «Биомолпром», ОАО «Минский молочный завод № 1» – управляющая компания холдинга «Первый молочный», ОАО «Бабушкина крынка» – управляющая компания холдинга «Могилевская молочная компания «Бабушкина крынка», ОАО «Гамма вкуса», ООО «Белфуд Продакшн», ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат», ООО «ЛВЛ Эволюшн».

В сегменте продуктов для питания детей дошкольного и школьного возраста присутствует продукция 10 предприятий, в том числе 5 производителей продуктов на мясной основе (СЗАО «Агрокомбинат «Колос», ЗАО «Серволюкс Агро», ОАО «Витебский мясокомбинат», ОАО «Гродненский мясокомбинат», ОАО «Пинский мясокомбинат») и 5 производителей – на молочной основе (Волковысское ОАО «Беллакт», ОАО «Рогачевский молочноконсервный комбинат», ОАО «Бабушкина крынка» – управляющая компания холдинга «Могилевская молочная компания «Бабушкина крынка», ОАО «Савушкин продукт», ООО «Несвижский завод детского питания»). Ассортимент представленной на рынке продукции достаточно широкий и включает колбасу вареную, сосиски, паштет, ветчину, колбасу полукопченую, пельмени, мясной пудинг, полуфабрикаты натуральные из мяса птицы для детского питания, субпродукты для детского питания, молоко, йогурты ложковые и питьевые, коктейли молочные, творог и творожные десерты.

Исследования показывают, что развитию указанного сегмента в стране способствуют такие факторы, как улучшение социально-экономического положения семей с детьми и рост их благосостояния; рост спроса на продукцию за счет увеличения возрастной группы потребителей специализированных пищевых продуктов питания для детей; расширение ассортимента представленных на рынке продуктов для детского питания отечественных производителей; повышение осведомленности родителей о принципах здорового питания и формирование осознанного потребления; наличие в стране необходимой научно-технической и сырьевой базы для развития производства продуктов для детского питания; наличие развитого нормативно-правового обеспечения в области организации питания в учреждениях дошкольного и школьного образования; государственное регулирование в сферах производства, торговли и поддержки спроса на продукты детского питания¹.

¹ О системе регулирования цен: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 19 окт. 2022 г. № 713 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <http://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200713> (дата обращения: 22.09.2024); ОНТП «Детское и специализированное питание» на 2021–2025: утв. Председателем Президиума НАН Беларусь от 1 июля 2020 г. // Автоматизированная система информационного обеспечения управленческой деятельности в НАН Беларуси. URL: https://asio.basnet.by/programs/details.php?ELEMENT_ID=34897 (дата обращения: 29.06.2024).

Вместе с тем сдерживающими факторами являются: высокие требования к качественным характеристикам сырья; высокая импортная составляющая в затратах на производство продуктов детского питания; недостаточная экономическая доступность продуктов для отдельных категорий домашних хозяйств и в регионах с более низким уровнем среднедушевых денежных доходов и др.

По результатам проведенных исследований выявлено, что *основной целью формирования сегмента специализированной пищевой продукции для детского питания* в Республике Беларусь является обеспечение физической и экономической доступности детскому населению мясных и молочных пищевых продуктов отечественного производства, предназначенных для питания детей, количество и качество которых наряду с другими продуктами обеспечивают сбалансированность рациона питания, удовлетворяющего потребности детского населения в пищевых веществах и энергии с учетом возрастных и физиологических особенностей организма.

Основными задачами в достижении цели являются:

- расширение ассортимента представленной на рынке продукции для питания детей различных возрастных групп;
- поступательное инновационное развитие структурных элементов рынка (сфера производства, сбыта, информационное обеспечение);
- приоритет инструмента ценового регулирования на рынке продуктов для детского питания;
- ориентация на высокий уровень самообеспечения потребности внутреннего рынка;
- постоянное государственное участие и контроль в обеспечении эффективного производственного процесса и продвижения продукции конечному потребителю.

Установлено, что при условии обеспечения потребности детскому населения в мясных и молочных продуктах только за счет специализированных пищевых продуктов емкость внутреннего потребительского рынка составит: молоко и кисломолочные продукты – 322,8 тыс. т, творог – 38,9, сметана – 10,0, масло сливочное – 20,0, сыр – 18,4 тыс. т, мясо – 48,4 тыс. т, мясо птицы – 12,9 тыс. т, субпродукты – 4,3 тыс. т, колбасные изделия – 8,7 тыс. т. (табл. 1). Емкость рынка в нише питания для детей младенческого возраста (от 0 месяцев до 1 года) составляет до 1 500 т сухих смесей в год (при сохранении 21%-го уровня исключительно грудного вскармливания в период 0–5 месяцев) и порядка 350 т каш сухих молочных.

Таблица 1. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в сегменте продуктов для детского питания на мясной и молочной основе

Table 1. Annual demand of the domestic consumer market in the segment of meat and dairy-based children's food products

Продукт	Возраст					Итого годовая потребность, тыс. т	
	ранний (6 месяцев – 1 год)	дошкольный	школьный				
	1–3 года	4–6 лет	7–10 лет	11–13 лет	14–18 лет		
<i>Молочные продукты</i>							
Молоко и кисломолочные продукты	2 272,5	49 567,2	65 237,5	81 265,8	58 363,5	66 105,2	322,8
Творог	606,0	5 163,3	7 176,1	9 751,9	7 587,3	8 593,7	38,9
Сметана	–	1 032,7	1 696,2	2 600,5	1 984,4	2 644,2	10,0
Масло сливочное	45,5	2 065,3	3 261,9	4 875,9	4 435,6	5 288,4	20,0
Сыр	–	516,3	3 261,9	5 201,0	4 435,6	5 024,0	18,4
<i>Мясные продукты</i>							
Мясо	606,0	5 163,3	8 611,4	10 727,1	9 805,1	13 485,5	48,4
Мясо птицы	151,5	1 032,7	2 609,5	3 250,6	2 568,0	3 305,3	12,9
Субпродукты	–	–	782,9	1 300,3	933,8	1 322,1	4,3
Колбасные изделия	–	516,3	1 304,8	2 438,0	1 750,9	2 644,2	8,7

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

N o t e. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus, Ministry of Labour and Social Protection of the Republic of Belarus and Ministry of Health of the Republic of Belarus.

Выявлено, что важнейшие направления решения задач в сфере обеспечения устойчивости развития сегмента продуктов для детского питания включают:

в сфере предложения:

– расширение и совершенствование ассортимента продукции на мясной и молочной основе для детей дошкольного и школьного возраста; в сегменте мясных продуктов имеется потребность в увеличении предложения полуфабрикатов (пельмени, шницели, котлеты, котлетное мясо и др.), а также субпродуктов из различных видов мяса, в том числе из кролика и индейки; в сегменте молочных продуктов – творога, творожных десертов, сыра, продуктов с добавлением молочного ингредиента (напитки, коктейли), а также безлактозных и низколактозных молочных продуктов в ассортименте;

– дальнейшее развитие электронной коммерции с целью обеспечения гарантированной физической доступности специализированных продуктов питания для всех групп детей, в том числе в сельской местности;

– создание отдельных специально маркированных отделов, витрин или полок в организациях торговли для выделенной реализации продуктов для питания детей, в том числе дошкольного и школьного возраста;

– разработку новых и совершенствование рецептур продуктов, уже освоенных в производстве, в том числе за счет обогащения их различными физиологически функциональными пищевыми ингредиентами;

в сфере спроса:

– разработку и внедрение различных образовательных программ и пособий по пропаганде здорового питания с целью формирования и расширения уровня знаний родителей и детей о принципах организации здорового питания, а также формирование правильного пищевого поведения детей;

– организацию работы специальных интернет-ресурсов для популяризации здорового образа жизни, в том числе для детского населения, и онлайн-консультирования родителей (горячей линии) по вопросам питания детей;

– разработку новых и совершенствование действующих рекомендаций по здоровому питанию детей, в том числе за счет включения специализированной пищевой продукции в лечебно-профилактические и диетические рационы питания для детей, а также в рационы питания в учреждениях образования;

в сфере научного обеспечения:

– создание и развитие направления персонализированного питания, основанного на учете антропометрических параметров и медицинских показаний, вкусовых предпочтений ребенка, уровня его умственной и физической активности;

в области государственного регулирования и координации:

– сохранение и совершенствование практики государственной адресной социальной помощи, например такой, как предоставление бесплатного набора продуктов питания для детей первых двух лет жизни семьям, имеющим по объективным причинам среднедушевой доход ниже критерия нуждаемости, а также семьям, воспитывающим двойни или более детей;

– разработку и внедрение различных социальных программ и национальных информационных проектов на основе зарубежной практики («Школьное молоко», «Три молочных продукта в день» и др.), реализация которых способствовала бы повышению уровня потребления качественных молочных и мясных продуктов.

2. Сегмент специализированной пищевой продукции для питания спортсменов и людей с повышенной физической и эмоциональной нагрузкой представлен на рынке Республики Беларусь такими отечественными продуктами, как кисломолочный напиток, обогащенный витаминами B_6 и D_3 , полезными лактобактериями *L. casei* без добавления сахара; высокобелковый кефирный напиток с пробиотиками; обезжиренный кисломолочный напиток с высоким содержанием белка; сывороточный протеин; напиток сухой специализированный для питания спортсменов; гематоген; протеиновые каши с молоком.

Анализ показывает, что наиболее распространенными продуктами спортивного питания в любительском спорте являются сывороточный и молочный протеин, а также говяжий протеин,

употребляемые для наращивания мышечной массы и восстановления организма после физических нагрузок, в профессиональном спорте – продукты для повышения физической выносливости и снижения утомляемости во время тренировок и соревнований, увеличения работоспособности и результативности, ускорения восстановительных процессов после физических нагрузок.

Развитию сегмента в стране способствуют: рост уровня осведомленности населения о спортивном питании; популяризация здорового образа жизни; развитие спортивной инфраструктуры; реализация государственных программ, направленных на формирование культуры здорового образа жизни среди населения и обеспечение демографической безопасности; наличие преимуществ у современного спортивного питания по критериям разнообразия ассортимента и удобства употребления; развитие технологий глубокой переработки сырья и производств молочных ингредиентов. Сдерживающими факторами остаются: недоверие и скептицизм к белорусским продуктам для спортивного питания; высокая стоимость продуктов на рынке; доминирующая доля на рынке спортивного питания зарубежных производителей; удлинение сроков от разработки продукта до его вывода на рынок по причине необходимости проведения клинических испытаний; недостаточные компетенции потребителей в сфере спортивной нутрициологии.

По результатам проведенных исследований выявлено, что цель формирования указанного сегмента в Республике Беларусь заключается в обеспечении доступности (физической и экономической) потребителям (профессиональным спортсменам и любителям) широкого выбора специализированной пищевой продукции отечественного производства, потребление которой способствует достижению спортивных результатов, восстановлению после физических нагрузок, поддержанию здоровья и работоспособности организма. В рамках указанной цели основными задачами являются:

- формирование предложения за счет освоения производства в стране определенной ассортиментной группы продуктов для питания спортсменов с учетом особенностей спроса на них;
- развитие структурных элементов рынка в соответствии с актуальными тенденциями мирового спортивного движения;
- обеспечение сбалансированности спроса и предложения на рынке, главным образом за счет продукции отечественного производства;
- сочетание рыночных механизмов и государственного контроля в сфере производства и продвижения продукции конечному потребителю.

Установлено, что для внутреннего рынка потребность в протеине составляет около 3 тыс. т в соотношении: 50 % – концентрат молочного протеина, 40 % – концентрат и изолят сывороточного протеина, 10 % – говяжий протеин (табл. 2).

Таблица 2. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в нише специализированного питания для спортсменов (на примере протеина), т

Table 2. Annual demand of the domestic consumer market in the segment of specialized nutrition for athletes (on example of protein), t

Рыночная ниша	Потребность в протеине для спортивного питания, т/год, в том числе		
	концентрат молочного белка, 50 %	концентрат и изолят сывороточного белка, 40 %	говяжий протеин, 10 %
Спорт высоких достижений	157,5	126,0	31,5
Массовый спорт и физкультура	1 332,5	1 066,0	266,5
Всего	1 490,0	1 192,0	298,0

Примечание. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Note. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

Актуальной задачей в формировании сегмента спортивного питания является обеспечение импортозамещения посредством расширения ассортимента и увеличения отечественного производства спортивного питания и компонентов, отвечающих современным требованиям качества

и безопасности, за счет развития национальной высокотехнологичной пищевой индустрии, направлениями развития которой являются:

в сфере предложения:

- интенсификация освоения и развития технологий глубокой переработки молочного и мясного сырья для получения импортозамещающих компонентов и последующего производства готовых продуктов для питания спортсменов в виде гейнеров, протеинов, протеиновых батончиков и печенья, таблетированных и капсулированных продуктов;

- активизация дальнейшего практического освоения результатов НИР в области специализированного питания и аддитивных технологий, увеличение объемов производства уже освоенных в производстве продуктов;

- развитие цифровых каналов реализации и маркетинговых средств формирования доверия потенциальных потребителей к отечественной специализированной продукции для питания спортсменов;

в сфере спроса:

- активная пропаганда здорового образа жизни, включая реализацию программ и мероприятий по расширению доступности массового спорта, в том числе за счет совершенствования спортивной, физкультурно-оздоровительной и спортивно-массовой инфраструктуры;

- обеспечение удобства и мобильности продуктов спортивного питания за счет различных современных видов и форм конечного продукта, упаковки и фасовки (протеиновые батончики, порошки, готовые к употреблению протеиновые коктейли и напитки в удобной упаковке);

в сфере научного обеспечения:

- поиск и исследование свойств новых инновационных ингредиентов и их сочетаний (универсальные аминокислоты, экстракты растений и др.);

- развитие научного направления по оптимизации и персонификации питания спортсменов с учетом достижений в области биотехнологий, нутригеномики и технических разработок, для создания продуктов и рационов, максимально адаптированных к генетическому профилю каждого спортсмена, с учетом спортивной специализации, задач и условий проведения тренировочного процесса, а также программ восстановительного периода;

- создание продуктов питания с программируемыми свойствами с проведением формализованной процедуры идентификации требований потребителей и последующий их перевод в технические характеристики разрабатываемой продукции;

- разработка и развитие информационных технологий в рамках концепции персонализированного питания;

- дальнейшее развитие направления исследований в области новых технологий, таких как 3D-печать пищевых продуктов;

в сфере государственной поддержки:

- совершенствование системы обеспечения специализированных учебно-спортивных учреждений, спортивных клубов, национальных команд и сборных спортивным питанием отечественного производства;

- проведение информационных кампаний по разъяснению функциональных характеристик и особенностей применения различных продуктов спортивного питания.

3. *Сегмент рынка пищевой продукции диетического лечебного и профилактического питания* ориентирован на такие категории потребителей, как: беременные и кормящие женщины, население с непереносимостью лактозы, нуждающееся в энтеральном питании и продуктах питания с пониженным содержанием сахаров и жиров, а также население с заболеванием фенилкетонурией.

Анализ показывает, что на внутреннем рынке Республики Беларусь ассортимент отечественной продукции в указанной категории представлен такими продуктами, как: продукт молочный сухой для питания беременных и кормящих женщин, низколактозные и безлактозные молочные продукты, продукты энтерального питания с добавлением молочного ингредиента (смесь сухая для диетического профилактического питания взрослых «Nova Vita Стандарт», раствор для приема внутрь «Энтеролин»), продукты на молочной основе без сахара и с пониженным содержа-

нием жира, продукт молочный сухой с пониженным содержанием белка, растительно-мясные консервы со сниженным содержанием фенилаланина и растительно-мясные сосиски (для больших фенилкетонурией).

Основной целью формирования этого сегмента в Республике Беларусь является развитие системы, основанной на индивидуальных подходах по персонализации питания, обеспечивающей физическую и экономическую доступность различным группам населения (лица пожилого и старческого возраста, беременные и кормящие женщины, лица с хроническими алиментарно-зависимыми заболеваниями, лица с различными видами и формами ферментопатии, пациенты с нутритивной недостаточностью) широкого ассортимента высококачественного адаптированного питания, потребление которого способствует предотвращению/снижению риска или коррекции дефицита эссенциальных пищевых веществ, поддержанию и улучшению здоровья, снижению заболеваний неинфекционной этиологии.

Задачами формирования сегмента рынка являются:

- обеспечение широкого ассортимента специализированных продуктов диетического питания, соответствующих нутритивному статусу пациентов во всех целевых группах сегмента;
- конкурентоспособная на внутреннем и внешнем рынках по цене и качеству продукция отечественного производства.

Установлено, что годовая потребность внутреннего потребительского рынка в нише специализированного питания составляет:

– для беременных и кормящих женщин (на примере продукта сухого молочного для питания беременных и кормящих женщин «Беллакт Мама⁺») – 267,9 т, из которых 42 % составляет потребность для беременных и 58 % – для кормящих (табл. 3);

Таблица 3. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в сегменте специализированного питания для беременных и кормящих женщин (на примере продукта сухого молочного для питания беременных и кормящих женщин «Беллакт Мама⁺»), т

Table 3. Annual demand of the domestic consumer market in the segment of specialized nutrition for pregnant and lactating women (as an example of the product of dry milk for pregnant and lactating women «Bellact Mama⁺»), t

Категория потребителей	Годовая потребность, т
Беременные женщины	113,4
Кормящие женщины	154,5
В том числе с детьми на грудном вскармливании:	
до 3 мес.	50,0
4–6 мес.	44,8
7–9 мес.	34,3
9–12 мес.	25,3
Итого	267,9

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь с учетом частоты многоплодных беременностей, продолжительности употребления продукта – 180 дней (с четвертого месяца беременности) и рекомендованной дневной нормы употребления продукта – 10 г в день.

N o t e. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus taking into account the frequency of multiple pregnancies, the duration of use of the product – 180 days (from the fourth month of pregnancy) and the recommended daily consumption of the product – 10 g per day.

– для населения пожилого и старческого возраста – 832,4 тыс. т молочной продукции и 23,1 тыс. т мясной продукции в пересчете на исходный продукт (табл. 4);

– для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний: молоко сгущенное частично обезжиренное – 276,0 т, молоко сгущенное с заменителем сахара – 16,9 т, йогурт – 75,0 т, мороженое – 15,0 т, мясные продукты с пониженным содержанием поваренной соли – 306,7 т, мясные изделия для детей с повышенным индексом массы тела – 412,0 т изделий колбасных

вареных, 975,1 т полуфабрикатов рубленых из мяса птицы и 759,5 т полуфабрикатов рубленых мясных (с учетом продуктов, представленных на рынке, и выполненных научных разработок в перспективами освоения) (табл. 5, 6) [28];

– для больных фенилкетонурией – 25,0 т консервов, 24,7 т сосисок и 2,4 т продукта молочного сухого (табл. 7);

– в сегменте безлактозных молочных продуктов – 319,3 тыс. т при сложившемся среднем уровне потребления молока и молочных продуктов за последние 5 лет (241 кг), а с учетом рациональной нормы потребления (393 кг) – 520,7 тыс. т в пересчете на молоко [29].

Таблица 4. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в сегменте геродиетического питания на мясной и молочной основе, тыс. т

Table 4. Annual demand of the domestic consumer market in the segment of meat and milk-based herodieers, thousand tonnes

Продукт	Рекомендованная норма потребления, г/день	Потребность, тыс. т		
		конечный продукт	в пересчете на исходный продукт	
<i>Молоко и молочные продукты</i>				
<i>Пожилой возраст</i>				
Молоко и кисломолочные продукты	257,5	157,3	157,3	
Йогурт	200	122,2	110,0	
Сыр	30	18,3	161,3	
Творог	100	61,1	201,6	
Всего	–	–	630,3	
<i>Старческий возраст и долгожители</i>				
Молоко и кисломолочные продукты	257,5	50,5	50,5	
Йогурт	200	39,2	35,3	
Сыр	30	5,9	51,7	
Творог	100	19,6	64,7	
Всего	–	–	202,1	
<i>Мясные продукты</i>				
<i>Пожилой возраст</i>				
Паштет мясной обогащенный	100	0,6	0,3	
Полуфабрикат мясной	100	0,6	0,4	
Всего	–	–	0,7	
<i>Старческий возраст и долгожители</i>				
Паштет мясной обогащенный	100	19,9	8,5	
Полуфабрикат мясной	100	19,9	13,9	
Всего	–	–	22,4	

Причание. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и рекомендованных норм потребления молочных и мясных продуктов.

Ноте. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus and recommended consumption of dairy and meat products.

Таблица 5. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в сегменте питания для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний, т

Table 5. Annual demand of the domestic consumer market in the nutrition segment for the prevention and treatment of food-dependent diseases, t

Продукт	Рекомендованная норма потребления, г/день	Потребность в продукте, т/год
<i>Молочные продукты</i>		
Молоко сгущенное частично обезжиренное (для населения с ожирением и лишним весом)	45	276,0
Молоко сгущенное с заменителем сахара (для населения с сахарным диабетом)	45	16,9

Окончание табл. 5

Продукт	Рекомендованная норма потребления, г/день	Потребность в продукте, т/год
Йогурт (с бетулином «DiaVita») (для населения с сахарным диабетом)	200	75,0
Мороженое без сахара (для населения с сахарным диабетом)	40	15,0
<i>Мясные продукты</i>		
Мясные продукты питания с пониженным содержанием поваренной соли с целью профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (для населения с ожирением и лишним весом)	50	306,7

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и рекомендованных норм потребления продуктов питания.

N o t e. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus and recommended food consumption.

Т а б л и ц а 6. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в изделиях колбасных варенных и полуфабрикатах рубленых для питания детей с повышенным индексом массы тела в Беларусь, т

Table 6. Annual demand of the domestic consumer market in products of sausage boiled and semi-processed minced for children with elevated body mass index in Belarus, t

Продукция	Возрастная категория		
	3–6 лет	7–10 лет	11–18 лет
Изделия колбасные вареные	9,6	120,3	282,1
Полуфабрикаты рубленые из мяса птицы	16,6	347,3	611,2
Полуфабрикаты рубленые мясные	40,6	260,5	458,4

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и примерных меню детей дошкольного и школьного возраста в учреждениях образования¹.

N o t e. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus and sample menus for pre-school and school age children in educational institutions¹.

Т а б л и ц а 7. Годовая потребность внутреннего потребительского рынка в сегменте питания на мясной и молочной основе для больных фенилкетонурией, т

Table 7. Annual demand of the domestic consumer market in the meat and milk based nutrition segment for phenylketonuria patients, t

Продукт	Рекомендованная норма потребления, г/день	Потребность, т/год
Консервы растительно-мясные со сниженным содержанием фенилаланина (для детей старше 1 года)	100	25,0
Сосиски со сниженным содержанием фенилаланина (для детей старше 1,5 года)	100	24,7
Продукт молочный сухой с пониженным содержанием белка (для детей старше 3 лет)	10	2,4

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь.

N o t e. The table was compiled by the authors based on the results of their own research according to the data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

¹ Примерное 10-ти дневное меню для детей дошкольного возраста // Детский сад № 329 г. Минска. URL: <http://ddu329.minsk.edu.by/ru/main.aspx?guid=22141> (дата обращения: 25.09.2024) ; Примерное двухнедельное меню для учащихся // Комбинат школьного питания. URL: <https://kshp-minsk.by/dlya-uchashchikhsya-i-ikh-roditeley/primernoedvukhnedelnoe-menyu> (дата обращения: 25.09.2024).

Основные направления формирования и развития сегмента рынка специализированной пищевой продукции диетического лечебного и профилактического питания включают:

в сфере предложения:

– повышение технико-технологического уровня и укрепление материально-технической базы, в том числе за счет внедрения инноваций и освоения научных разработок;

– активизацию процесса освоения результатов научных исследований в области диетического лечебного и профилактического питания и интенсификации его производства;

– динамичное развитие маркетплейсов и онлайн-продаж;

в сфере спроса:

– развитие системы здравоохранения, в которой нутритивная поддержка пациентов является обязательным компонентом стандартов оказания медицинской помощи и в которой предусмотрена система прямого государственного финансирования закупок отечественного специализированного питания для организаций здравоохранения, учреждений социального обслуживания и для пациентов, находящихся на домашнем лечении;

– социальную политику государства в области регулирования доходов населения, предоставления социальных гарантий, обеспечения социальной защиты и занятости населения;

– реализацию мероприятий по просветительской работе населения и медицинских работников в области правильного рационального питания;

в научной области:

– интенсификацию исследований в области нутрициологии, диетологии и технологий получения высококачественного безопасного продовольственного сырья, ингредиентов и производства пищевых продуктов с высокой биологической ценностью;

– разработку принципов маркировки специализированной пищевой продукции для диетического лечебного и профилактического питания;

– исследование свойств новых ингредиентов и их сочетаний;

в сфере государственного регулирования:

– разработку и внедрение организационно-экономических механизмов стимулирования развития отечественного производства специализированной пищевой продукции для диетического лечебного и профилактического питания, включая государственную поддержку отечественных производителей в сфере освоения научно-технических разработок, в том числе био- и нанотехнологий;

– проведение мероприятий по повышению уровня осведомленности и информированности врачей, медицинских работников, персонала учреждений здравоохранения и непосредственно пациентов о симптомах недостаточности питания и преимуществах надлежащей нутритивной поддержки;

– включение задач по обеспечению нуждающихся пациентов в лечебном питании в целевые государственные программы в области здравоохранения;

– совершенствование механизма закупки продуктов питания учреждениями дошкольного и школьного образования, медицинскими, лечебно-профилактическими и детскими оздоровительными учреждениями в направлении формирования меню за счет произведенных отечественными предприятиями продуктов специализированного назначения, предназначенных для питания детей;

– обеспечение гарантированного объема поставок мясных и молочных продуктов для питания детей в учреждения дошкольного и школьного образования, а также медицинские, лечебно-профилактические и детские оздоровительные учреждения для отечественных производителей;

– стимулирование расширения ассортимента выпускаемых в стране мясных и молочных продуктов для питания детей дошкольного и школьного возраста на основе совершенствования системы государственной поддержки.

Таким образом, обоснование целевых параметров и направлений перспективного развития рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь в разрезе составляющих его сегментов с использованием разработанной методики оценки и прогнозирования потенциала развития рынка направлено, с одной стороны, на формирование методической базы системы

мониторинга влияния факторов на рыночный потенциал в сегментах детского, спортивного, диетического лечебного и профилактического питания, а с другой – на стимулирование спроса и предложения специализированных и функциональных продуктов питания в Республике Беларусь, обеспечение их сбалансированного развития.

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. С учетом наблюдаемой в Республике Беларусь несбалансированности рационов питания населения и роста числа зарегистрированных случаев неинфекционных заболеваний, связанных с образом жизни и питания, а также глобальных тенденций роста рынка специализированных и функциональных продуктов питания, важным направлением становится формирование в стране продовольственной среды, способствующей полноценному, сбалансированному и здоровому питанию всех категорий населения, на основе насыщения внутреннего рынка функциональными и специализированными пищевыми продуктами, обогащенными биологически ценными ингредиентами, а также их популяризации среди населения. В данной связи разработана методика оценки и прогнозирования потенциала развития рынка специализированных продуктов питания на мясной и молочной основе, которая предполагает постановку цели и задач, установление принципов и методов, обоснование алгоритма и системы критериев и показателей оценки развития составляющих рыночных сегментов. Методика позволяет проводить оценку перспективных параметров спроса на продукцию в разрезе сегментов детского, спортивного, диетического лечебного и профилактического питания, выявлять обеспечивающие и содержащие факторы формирования и развития сегментов рынка в стране и на этой основе разрабатывать направления и стимулирующие механизмы их дальнейшего развития.

2. По результатам апробации предложенной методики определены цели и задачи формирования рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь, выполнена оценка величины спроса (годовой потребности) на указанную продукцию с учетом определяющих факторов формирования рынка. Установлено, что потенциальная емкость внутреннего потребительского рынка в специализированных пищевых продуктах для детского питания составляет: молоко и кисломолочные продукты – 322,8 тыс. т, творог – 38,9, сметана – 10,0, масло сливочное – 20,0, сыр – 18,4 тыс. т, мясо – 48,4 тыс. т, мясо птицы – 12,9 тыс. т, субпродукты – 4,3 тыс. т, колбасные изделия – 8,7 тыс. т, сухие молочные смеси – порядка 1 500 т, каши сухие молочные – 350 т; для питания спортсменов – 3 тыс. т в соотношении: 50 % – концентрат молочного протеина, 40 % – концентрат и изолят сывороточного протеина, 10 % – говяжий протеин; для беременных и кормящих женщин – 267,9 т сухого специализированного продукта; для населения пожилого и старческого возраста – 832,4 тыс. т молочной продукции и 23,1 тыс. т мясной продукции (в пересчете на исходный продукт); для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний: молоко сгущенное частично обезжиренное – 276,0 т, молоко сгущенное с заменителем сахара – 16,9 т, йогурт – 75,0 т, мороженое – 15,0 т, мясные продукты с пониженным содержанием поваренной соли – 306,7 т, мясные изделия для детей с повышенным индексом массы тела: изделия колбасные вареные – 412,0 т, полуфабрикаты рубленые из мяса птицы – 975,1 т, полуфабрикаты рубленые мясные – 759,5 т; для больных фенилкетонурией – 25,0 т консервов, 24,7 т сосисок и 2,4 т продукта молочного сухого; в сегменте безлактозных молочных продуктов – 319,3–520,7 тыс. т (в пересчете на молоко).

Обоснованный комплекс направлений перспективного развития рынка специализированных продуктов питания в Республике Беларусь в разрезе отдельных сегментов включает меры по стимулированию внутреннего потребительского спроса на продукты специализированного питания, отечественного производства и расширения ассортимента выпускаемой продукции, совершенствование механизма регулирования рынка. Практическая их реализация позволит повысить физическую и экономическую доступность данной категории продуктов питания для целевых групп потребителей за счет создания в стране необходимых социально-экономических условий, обеспечивающих эффективную интеграцию научной, производственной и торговой сфер в направлении совершенствования системы разработки, коммерциализации, внедрения и продвижения инновационных продуктов при активной регулирующей и координирующей роли государства.

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

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the State Scientific Research Program “Agricultural Technologies and Food Security”, 2021–2025, Subprogram “Economics of the Agro-Industrial Complex”.

Список использованных источников

1. Стратегия обеспечения национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь: результаты мониторинга, задачи и механизмы / А. В. Пилипук, С. А. Кондратенко, И. В. Гусакова, Л. А. Лобанова // Весці Нацыянальнай акадэміі науک Беларусі. Серыя аграрных наукаў. – 2024. – Т. 62, № 4. – С. 271–287. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-271-287>
2. Разработка предложений по сбалансированному развитию продуктовых рынков / Н. В. Киреенко, С. А. Кондратенко, Г. В. Гусаков [и др.] // Механизмы эффективного регулирования АПК в современных условиях: вопросы теории и методологии / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; под ред. В. Г. Гусакова. – Мин., 2019. – Гл. 1, § 1.1. – С. 7–16.
3. Формирование сбалансированного рынка сельскохозяйственного сырья и продовольствия (в контексте мировой продовольственной конъюнктуры) / В. Г. Гусаков, З. М. Ильина, В. И. Бельский [и др.]. – Мин.: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2012. – 127 с.
4. Методические рекомендации по формированию организационно-экономического механизма сбалансированности национального продовольственного рынка в условиях развития интеграционных процессов (в рамках ЕЭП) / З. М. Ильина, Н. В. Киреенко, С. А. Кондратенко [и др.]. – Мин.: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2015. – 47 с.
5. Таможенный союз: рынки сырья и продовольствия / З. М. Ильина, Л. Н. Байгот, М. С. Байгот [и др.]; под ред. З. М. Ильиной. – Мин.: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2013. – 199 с.
6. Методические рекомендации по стратегии сбалансированного развития рынков сельскохозяйственного сырья и продовольствия на инновационной основе / Н. В. Киреенко, С. А. Кондратенко, Н. Н. Батова [и др.]. – Мин.: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2016. – 70 с.
7. Кондратенко, С. А. Устойчивое развитие регионального агропродовольственного комплекса: теория, методология, практика / С. А. Кондратенко; под ред. В. Г. Гусакова. – Мин.: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2019. – 286 с.
8. Принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь / А. В. Пилипук, Г. В. Гусаков, П. В. Растворгев [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі науک Беларусі. Серыя аграрных наукаў. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 135–150. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-135-150>
9. Лагодич, Л. В. Устойчивость развития продовольственного рынка Республики Беларусь: теория и методология / Л. В. Лагодич. – Мин.: Бел. наука, 2015. – 256 с.
10. Петрович, Э. А. Рынок продовольствия и продовольственная безопасность Республики Беларусь / Э. А. Петрович, Л. П. Лазарев, Т. Э. Титарева. – Горки: БГСХА, 2011. – 163 с.
11. Алтухов, А. И. Региональный продовольственный рынок: проблемы формирования и развития / А. И. Алтухов, Г. И. Макин. – М.: [б. и.], 1997. – 150 с.
12. Теоретические и практические аспекты товародвижения на агропродовольственном рынке (зарубежная и отечественная практика) / И. Г. Ушачев, Н. Д. Аварский, А. Г. Папцов [и др.]. – М.: ФГБНУ ВНИИЭСХ, 2014. – 155 с.
13. Сиптиц, С. О. Проектирование эффективных механизмов государственного регулирования аграрных рынков методами математического моделирования / С. О. Сиптиц. – М.: ВИАПИ, 2004. – 137 с.
14. Тамов, А. А. Продовольственный рынок региона как объект стратегического управления / А. А. Тамов, Р. Р. Аванесова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. – 2010. – № 3. – С. 66–72.
15. Минаков, И. А. Особенности формирования и функционирования агропродовольственного рынка / И. А. Минаков // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2014. – № 4. – С. 29–33.
16. Зинчук, Г. М. Развитие продовольственного рынка: теория, методология, практика: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Зинчук Галина Михайловна; Марийс. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2009. – 34 с.
17. Гомелько, Т. В. Регулирование продовольственного рынка в условиях инновационного развития (теория, методология, практика): автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Гомелько Татьяна Владимировна; Брян. гос. ун-т. – Брянск, 2011. – 44 с.
18. Фетюхина, О. Н. Функционирование и развитие агропродовольственного рынка России в условиях глобализации: теория, методология, практика: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Фетюхина Ольга Николаевна; Ставроп. гос. аграр. ун-т. – Ставрополь, 2011. – 46 с.
19. Нуралиев, С. У. Формирование экономических отношений на оптовом продовольственном рынке России: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Нуралиев Сиражудин Урцмиевич; Всерос. науч.-исслед. ин-т экономики сел. хоз-ва РАСХН. – М., 2006. – 47 с.
20. Ловкис, З. В. Детское питание: наука, технологии, продукты / З. В. Ловкис. – Мин.: ИВЦ Минфина, 2023. – 355 с.
21. Моргунова, Е. М. Научно-методологические подходы к созданию концепции персонифицированного питания / Е. М. Моргунова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2020. – Т. 13, № 2 (48). – С. 6–13.
22. Моргунова, Е. М. Мониторинг потребительских предпочтений в отношении пищевых продуктов направленной эффективности / Е. М. Моргунова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2022. – № 1 (32). – С. 28–41.

23. Шилов, В. В. Истории и стратегии персонализированного питания / В. В. Шилов, А. Н. Батян // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2023. – Т. 16, № 2 (60). – С. 49–55.

24. Шилов, В. В. Оптимизация системы детского питания / В. В. Шилов, Н. И. Белякова, А. А. Журня // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2019. – Т. 12, № 1 (43). – С. 13–19.

25. Сычева, О. В. Условия перехода к персонализированному питанию / О. В. Сычева, О. В. Сычев // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 1. – С. 8–14.

26. Индивидуализация питания беременных и кормящих женщин / А. К. Батурина, М. В. Гмошинская, Е. А. Пырьева [и др.] // Фарматека. – 2017. – № 3 (336). – С. 22–24.

27. Сидоренко, М. Ю. Персонализированное питание / М. Ю. Сидоренко. – М.: ДeЛи плюс, 2016. – 192 с.

28. Довнар, Л. И. Оценка социальной значимости и потенциала рынка новых видов мясных продуктов для питания детей дошкольного и школьного возраста с повышенным индексом массы тела в Республике Беларусь / Л. И. Довнар, С. А. Гордынец // Аграрная экономика. – 2024. – № 12 (355). – С. 68–86. <http://doi.org/10.29235/1818-9806-2024-12-68-86>

29. Рынок безлактозных молочных продуктов: состояние конкуренции, потенциал и перспективы развития в Республике Беларусь / Л. Довнар, Л. Ёнчик, Е. Войтехович, О. Сотченко // Аграрная экономика. – 2025. – № 6 (361). – С. 78–96. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2025-6-78-96>

References

1. Pilipuk A. V., Kondratenko S. A., Gusakova I. V., Lobanova L. A. Strategy for ensuring national food security of the Republic of Belarus: monitoring results, objectives and mechanisms. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 4, pp. 271–287 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-271-287>
2. Kireenko N. V., Kondratenko S. A., Gusakov G. V., Enchik L. T., Lobanova L. A., Dovnar L. I., Gusakova I. V., Svistun O. V., Steshits O. V., Kosova A. L., Mitskevich S. M., Bystryi S. P., Arnatovich M. A. Formulation of proposals for the balanced development of product markets. *Mechanisms of effective regulation of the Agro-Industrial Complex in modern conditions: questions of theory and methodology*. Minsk, 2019, pp. 7–16 (in Russian).
3. Gusakov V. G., Il'ina Z. M., Bel'skii V. I., Baran G. A., Enchik L. T., Lobanova L. A., Svistun O. V., Smeyan A. Yu., Kalyuk V. I., Shishko V. I. *Formation of a balanced market for agricultural raw materials and foodstuffs (in the context of the global food situation)*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2012. 127 p. (in Russian).
4. Il'ina Z. M., Kireenko N. V., Kondratenko S. A., Baran G. A., Enchik L. T., Lobanova L. A., Gusakova I. V., Gusakov G. V., Kuz'mich L. I., Gridyushko D. N., Verokha L. M., Buben S. B., Efimenko A. G., Lagodich L. V., Volkova E. V. *Methodological recommendations on the formation of an organizational and economic mechanism for balancing the national food market in the context of the development of integration processes (within the framework of the Common Economic Space)*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2015. 47 p. (in Russian).
5. Il'ina Z. M., Baigot L. N., Baigot M. S., Bel'skii V. I., Sukhov S. M., Sarsenbekov K. O., Buben S. B., Kireenko N. V., Brechko Ya. N., Akhramovich V. S., Baran G. A., Verokha L. M., Gridyushko D. N., Guk E. P., Enchik L. T., Karpovich N. V., Kuz'mich L. I., Lobanova L. A., Nikitina I. V. *Customs Union: raw material and food markets*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2013. 199 p. (in Russian).
6. Kireenko N. V., Kondratenko S. A., Batova N. N., Gusakova I. V., Enchik L. T., Kuz'mich L. I., Lobanova L. A., Mitskevich S. M., Verokha L. M., Svistun O. V., Gusakov G. V., Steshits O. V. *Methodological recommendations on the strategy of balanced development of agricultural raw materials and food markets on an innovative basis*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2016. 70 p. (in Russian).
7. Kondratenko S. A. *Sustainable development of the regional agro-food complex: theory, methodology, practice*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2019. 286 p. (in Russian).
8. Pilipuk A. V., Gusakov G. V., Rastorguev P. V., Kondratenko S. A., Karpovich N. V., Pochtovaya I. G., Lobanova L. A. Principal directions of improvement of the mechanism of ensuring food security of the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no. 2, pp. 135–150 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-135-150>
9. Lagodich L. V. *Sustainability of the food market of the Republic of Belarus: theory and methodology*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2015. 256 p. (in Russian).
10. Petrovich E. A., Lazarev L. P., Titareva T. E. *Food market and food security of the Republic of Belarus*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2011. 163 p. (in Russian).
11. Altukhov A. I., Makin G. I. *Regional food market: problems of formation and development*. Moscow, 1997. 150 p. (in Russian).
12. Ushachev I. G., Avars'kii N. D., Paptsov A. G., Bondarenko T. G., Gasanova H. N., Drachev R. S. [et al.]. *Theoretical and practical aspects of commodity in agricultural market (foreign and domestic practice)*. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Economics, 2014. 156 p. (in Russian).
13. Siptits S. O. *Designing effective mechanisms of state regulation of agricultural markets by mathematical modeling methods*. Moscow, All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics, 2004. 137 p. (in Russian).

14. Tamov A. A., Avanessova R. R. Food market of the region as an object of strategic management. *Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika = The Bulletin of the Adyghe State University. Series Economics*, 2010, no. 3, pp. 18–25 (in Russian).
15. Minakov I. A. Specific features of the formation and functioning of the agrifood market. *Ekonomika sel'skokhozyaistvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy = Economy of Agricultural and Processing Enterprises*, 2014, no. 4, pp. 29–33 (in Russian).
16. Zinchuk G. M. *Food market development: theory, methodology, and practice*. Yoshkar-Ola, 2009. 34 p. (in Russian).
17. Gomel'ko T. V. *Regulation of the food market in the context of innovative development: theory, methodology, practice*. Bryansk, 2011. 44 p. (in Russian).
18. Fetyukhina O. N. *The functioning and development of the russian agri-food market in the context of globalization: theory, methodology, and practice*. Stavropol, 2011. 46 p. (in Russian).
19. Nuraliev S. U. *Formation of economic relations in the wholesale food market of Russia*. Moscow, 2006. 47 p. (in Russian).
20. Lovkis Z. V. *Child nutrition: science, technology, products*. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2023. 355 p. (in Russian).
21. Morgunova E. M. Scientific-methodological approaches to the concept of personalized power. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food Industry: Science and Technology*, 2020, vol. 13, no. 2 (48), pp. 6–13 (in Russian).
22. Marhunova A. M. Monitoring of consumer preferences for targeted efficiency food products. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta pishchevykh i khimicheskikh tekhnologii = Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies*, 2022, no. 1 (32), pp. 28–41 (in Russian).
23. Shilov V. V., Batyan A. N. History and strategies for personalized nutrition. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food Industry: Science and Technology*, 2023, vol. 16, no. 2 (60), pp. 49–55 (in Russian).
24. Shylau V. V., Beliakova N. I., Zhurnia A. A. Optimization of the system of children's nutrition. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food Industry: Science and Technology*, 2019, vol. 12, no. 1 (43), pp. 13–19 (in Russian).
25. Sycheva O. V., Sychev O. V. Conditions for transition to personalized nutrition. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya = Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex – Healthy Food Products*, 2020, no. 1, pp. 8–14 (in Russian).
26. Baturin A. K., Gmoshinskaya M. V., Pyryeva E. A., Kon I. Y., Abramova T. V., Larionova Z. G. Individualization of nutrition of pregnant and nursing women. *Farmateka*, 2017, no. 3 (336), pp. 22–24 (in Russian).
27. Sidorenko M. Yu. *Personalized nutrition*. Moscow, DeLi plus Publ., 2016. 192 p. (in Russian).
28. Dovnar L. I., Gordynets S. A. Assessment of the social importance and market potential of new types of meat products for nutrition of preschool and school-age children with an elevated body mass index in the Republic of Belarus. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2024, no. 12 (355), pp. 68–86 (in Russian). <http://doi.org/10.29235/1818-9806-2024-12-68-86>
29. Dovnar L., Yonchik L., Voitekhovich E., Sotchenko O. Market of lactose-free dairy products: state of competition, potential and development prospects in the Republic of Belarus. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2025, no. 6 (361), pp. 78–96 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2025-6-78-96>

Информация об авторах

Гусаков Гордей Владимирович – кандидат экономических наук, доцент, директор Института мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларусь (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: gordei.v.gusakov@gmail.com

Ёнчик Лилия Тадеушевна – старший научный сотрудник сектора экономических исследований, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларусь (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: yonya@tut.by

Довнар Людмила Иосифовна – кандидат экономических наук, заведующий сектором экономических исследований, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларусь (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ec-research.immp@yandex.by

Information about the authors

Gordey V. Gusakov – Ph. D. (Economics), Associate Professor, Director of the Institute for Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gordei.v.gusakov@gmail.com

Liliya T. Yonchik – Senior Researcher of the Economic Research Sector, Institute for Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yonya@tut.by

Lydmla I. Dovnar – Ph. D. (Economics), Head of the Economic Research Sector, Institute for Meat and Dairy Industry (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ec-research.immp@yandex.by

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСПІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATIONУДК 635.21:632.3/4:632.938.2(571.1)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-35-51>Поступила в редакцию 02.06.2025
Received 02.06.2025**А. А. Малюга¹, Н. С. Чуликова¹, Н. Н. Енина¹, Е. М. Гутина¹,
В. В. Фоменко², Н. Ф. Салахутдинов²**¹*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
Краснообск, Российская Федерация*²*Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск, Российская Федерация***ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРЕПАРАТОВ
НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА НА ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОСАДОК КАРТОФЕЛЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРЫ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Аннотация. Индукция иммунитета растений с помощью биологически активных веществ, таких как хитозан, является перспективным методом защиты растений, который повышает их устойчивость к болезням и вредителям. Препараты на основе хитозана повышают болезнеустойчивость на 30–40 %, стимулируют биосинтез аминокислот и витаминов, а также способствуют росту растений, что повышает урожайность. В картофелеводстве этот метод особенно важен из-за значительных потерь урожая от грибных, бактериальных и вирусных заболеваний (25–75 %). Причем противовирусных и противобактериальных препаратов для использования их при производстве картофеля не существует. В то же время хитозан и другие биологически активные вещества, обладая широким спектром уникальных биологических активностей, имеют способность индуцировать устойчивость как к грибным, так и к вирусным заболеваниям растений. Поэтому одним из направлений оптимизации производства картофеля, его качества, стабилизации фитосанитарного состояния посадок культуры может стать расширение сортимента биологически активных веществ и совершенствование приемов их использования. Изучение влияния новых экологически безопасных препаратов на основе хитозана на фитосанитарную ситуацию в посадках картофеля и показатели продуктивности в условиях Западной Сибири показало, что они повышали всхожесть культуры на 16,0–68,0 %, достоверно увеличивали длину растений на 3,2–18,1 %, массу растений – на 11,1–24,8 %, а количество столонов и клубней – на 14,8–73,2 и 8,0–43,2 %, массу клубней – на 8,2–25,8 %. Развитие ризоктониоза данные препараты снижали в фазу всходов на 6,7–14,6 %, распространенность макроспориоза – от 10,0 до 30,0 %. При 100%-м распространении фитофтороза его развитие на начальном этапе поражения имело различия и было меньше, чем в контроле. Минимальное его развитие (1,5 балла; контроль – 2,8 балла) отмечено в случае обработки посадочных клубней препаратами № 1, 7, 8 и 12 и обработки растений в период вегетации препаратом № 1. При использовании комбинация препаратов № 7 (обработка клубней) и № 12 (опрыскивание растений) симптомы вирусных заболеваний в посадках культуры полностью отсутствовали. Урожайность культуры при использовании новых препаратов варьировала в среднем за 3 года от 14,5 до 20,0 т/га, прибавка урожая составила от 1,4 до 6,9 т/га (от 10,7 до 52,7 %).

Ключевые слова: картофель, сорт Gala, хитозан, Novochizol, ризоктониоз, фитофтороз, макроспориоз, фузарийное увядание, вирусные заболевания, урожайность

Для цитирования: Влияние экологически безопасных препаратов на основе хитозана на фитосанитарное состояние посадок картофеля и продуктивность культуры в условиях Западной Сибири / А. А. Малюга, Н. С. Чуликова, Н. Н. Енина [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 35–51. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-35-51>

Anna A. Malyuga¹, Natalya S. Chulikova¹, Natalya N. Enina¹, Ekaterina M. Gutina¹,
Vladislav V. Fomenko², Nariman F. Salakhutdinov²

¹*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Russian Federation*

²*N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation*

THE INFLUENCE OF CHITOSAN-BASED ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AGENTS ON THE PHYTOSANITARY CONDITION OF POTATO PLANTS AND CROP PRODUCTIVITY IN WESTERN SIBERIA

Abstract. Induction of plant immunity to harmful organisms using biologically active substances with elicitor (signal) action is the most promising modern method of plant protection. Among them, chitosan-based agents are widely used, their effect is manifested in an increase in disease resistance by 30–40 %, an increase in biosynthetic processes of formation of amino acids and vitamins, growth stimulation, which increases crop productivity. In potato growing, a serious problem, in addition to fungal infections, is the accumulation and transmission of bacteria and viruses in crop plantings, what leads to significant yield losses (25–75 %). Moreover, there are no antiviral and antibacterial drugs for use in potato production. At the same time, chitosan and other biologically active substances, having a wide range of unique biological activities, for example, have the ability to induce resistance to both fungal and viral diseases of plants. Therefore, one of the areas for improving potato production, its quality, stabilizing the phytosanitary condition of crop plantings can be the expansion of the range of biologically active substances and the improvement of the methods of their use. The study of the effect of new environmentally friendly chitosan-based agents on the phytosanitary situation in potato plantings and productivity indicators in the conditions of Western Siberia showed that they increased crop germination by 16.0–68.0 %, reliably increased plant length by 3.2–18.1 %, plant weight by 11.1–24.8 %, and the number of stolons and tubers by 14.8–73.2 and 8.0–43.2 %, tuber weight by 8.2–25.8 %. These agents reduced the development of rhizoctonia in the seedling phase by 6.7–14.6 %, the prevalence of macrosporiosis from 10.0 to 30.0 %. With a hundred percent spread of late blight, its development at the initial stage of damage had differences and was less than in the control. Its minimum development (by 1.5 points, control 2.8 points) was noted in the case of treating planting tubers with agents No. 1, 7, 8 and 12, and treating plants during the growing season with agent No. 1. When using a combination of agents No. 7 (treatment of tubers) and No. 12 (spraying plants), virosis is in crop plantings was completely absent. The crop yield when using new agents varied on average over three years from 14.5 to 20.0 t/ha, the yield increase was from 1.4 to 6.9 t/ha (from 10.7 to 52.7 %).

Keywords: potato, variety Gala, chitosan, Novochizol, black scab, late blight, early spot, fusarium wilt, virosis, yield

For citation: Malyuga A. A., Chulikova N. S., Enina N. N., Gutina E. M., Fomenko V. V., Salakhutdinov N. F. The influence of chitosan-based environmentally friendly agents on the phytosanitary condition of potato plants and crop productivity in Western Siberia. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 35–51 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-35-51>

Введение. Экологическая безопасность технологий возделывания сельскохозяйственных культур предусматривает проведение защитных мероприятий, не наносящих вреда окружающей среде, с сохранением функций ее саморегулирования и быстрого восстановления, и прежде всего – почвенного плодородия. В настоящее время актуальны экологически и экономически обоснованные исследования по поиску высокоэффективных биоfungицидов, ускоряющих рост растений, способных контролировать фитосанитарное состояние агроценозов и оказывать прямое или опосредованное положительное воздействие на биогенность почвы. Обладающие данными свойствами препараты, наравне с химическими, будут востребованы в современных технологиях интенсивного растениеводства с включением адаптивно-интегрированной системы защиты растений, которая должна быть многовариантной и перестраиваемой [1–4].

Индукция иммунитета растений к вредным организмам с помощью биологически активных веществ, обладающих элиситорным (сигнальным) действием, – наиболее перспективный современный метод защиты растений. Эти вещества повышают иммунитет растений к болезням, устойчивость к ряду неблагоприятных факторов среды (засуха, высокая и низкая температура, засоление почв), улучшают завязываемость семян и плодов, а также их качество, обеспечивают укоренение черенков, предотвращают полегание растений и стекание зерна, облегчают механизированную уборку урожая, не оказывают отрицательного влияния на плодородие почвы [5, 6].

Несмотря на то что в изучении элиситоров пока остается много неясных вопросов, накопленные знания уже используются для решения практических задач сельского хозяйства. На рынках многих стран мира появились безопасные для человека и окружающей среды коммерческие пре-

параты нового поколения, способные индуцировать устойчивость растений к инфекционным заболеваниям. Они защищают различные сельскохозяйственные культуры от фитопатогенов на уровне, сравнимом по эффективности с синтетическими пестицидами. Среди них широко используются препараты на основе хитозана, их действие проявляется в повышении болезнестойчивости на 30–40 %, усилении биосинтетических процессов образования аминокислот и витаминов, ростостимуляции, что повышает продуктивность культуры [7, 8].

Что касается коммерческих препаратов на основе хитозана, то в Новой Зеландии это ARMOUR-Zen и Kytosan, в Германии – ChitoPlant, в США – Elexa 4, ОП – YS и Fresh Seal, в России – Фитохит, Агрохит, Нарцисс, Экогель, в Исландии – ChitoClear, в Польше – Biochikol 020 PC, в Чили – Biorend, в Таиланде – Bioshield. Главные различия в перечисленных препаратах – концентрации, препартивные формы (порошок или раствор), некоторые добавки [5].

Хитозан – натуральный полимер, получаемый посредством деацетилирования хитина ракообразных, насекомых, грибов. Установлено положительное влияние хитозана на рост и развитие растений. Обработка листьев пшеницы данным препаратом приводила к увеличению концентрации фенольных кислот, обладающих антимикробной активностью. У растений пшеницы, обработанных хитозаном и подвергнутых стрессу засухи, значительно возрастали индекс роста, скорость прорастания, количество влаги в зерне, длина и активность корней, изменялись физиологические показатели: активность супероксиддисмутазы, пероксидазы, каталазы, содержание малондиальдегида и хлорофилла. Обработка хитозаном, увеличивая содержание хлорофилла в листьях пшеницы, обусловила повышение урожая на 13,6 % по сравнению с контролем [7].

Препараты на основе хитозана и его композиции с различными биологически активными веществами, нанометаллами являются наиболее многофункциональными и обладают антистрессовым воздействием. Они способны заменить химические пестициды и агрохимикаты, а также действуют по принципу компенсационной защиты посевов от биоагентов, что определяет их перспективность в современных агротехнологиях [8, 9]. Так, раствор хитозана с медью полностью ингибировал рост мицелиальных грибов – *Fusarium oxysporum* BKM F-1182, *Alternaria alternata* BKM F-1120 по сравнению с исходным хитозаном. Если эффективность химических фунгицидов по окончании срока защитного действия (7–14 сут) снижается, то у элиситорных регуляторов роста, композиций нанометаллов с хитозаном она связана с пролонгированием иммунитета в течение 2–3 мес. после проведения обработки и, как правило, возрастает, в конечном итоге может приблизиться к эффективности фунгицида [10].

Тем не менее, несмотря на ряд исследований, эксперименты, в которых конкретно рассматривается роль праймирования в сложной структуре взаимодействия хитозан – растение, все еще редки [11]. Установлено, что металлоксодержащие хитозаны проявляют повышенные антимикробные и фунгицидные свойства [12].

В картофелеводстве серьезной проблемой, помимо грибных инфекций, является накопление и передача бактерий и вирусов в посадках культуры, что приводит к значительным потерям урожая (25–75 %) [13]. Противовирусных и противобактериальных препаратов для использования их при производстве картофеля нет. В то же время хитозан и другие биологически активные вещества, обладая широким спектром уникальных биологических активностей, могут индуцировать устойчивость к вирусным заболеваниям у растений. Способность хитозана и других биологически активных веществ (БАВ) подавлять вирусные инфекции растений не зависит от вида вируса, а опосредована его влиянием на растение и определяется тем, что они вызывают в растениях устойчивость к заражению вирусами. У растений индуцируется широкий спектр защитных реакций, которые модулируют гиперчувствительную реакцию растений на вирусную инокуляцию, ограничивают системное распространение вирусов и вириодов по растению и приводят к развитию системной приобретенной устойчивости [14].

Приведенные сведения свидетельствуют о возможности разработки экологически безопасных приемов защиты картофеля от болезней с использованием БАВ с целью увеличения количества, улучшения качества произведенной продукции, поддержания стабильности экологической ситуации. Важной задачей также остается поиск новых соединений, а также совершенствование уже известных веществ, обладающих росторегулирующей активностью и повышающих устойчивость растений к различным стрессам.

Таким образом, для получения высококачественной экологически безопасной продукции растениеводства и обеспечения благоприятной обстановки в агроландшафтах необходимо разрабатывать и шире применять средства, повышающие устойчивость растений к различным стрессорам, стремясь к получению стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур надлежащего качества при снижении затрат на их производство и уменьшении отрицательного воздействия на окружающую среду. Получение высоких урожаев картофеля в настоящее время в основном связано с использованием химических средств защиты растений. Однако эффекты пестицидов неоднозначны: эти вещества могут быть токсичными, канцерогенными и мутагенными. Поэтому одним из направлений оптимизации производства картофеля, его качества, стабилизации фитосанитарного состояния посадок культуры может стать расширение сортимента биологически активных веществ и совершенствование приемов их использования [15–18].

Цель исследований – изучение влияния препаратов на основе хитозана на фитосанитарную обстановку в посадках картофеля в условиях Западной Сибири.

Материалы и методы исследований. В связи с целью исследований объектами изучения были: экспериментальные композиции на основе хитозана, картофель (*Solanum tuberosum* L.) и болезни картофеля (ризоктониоз – *Rhizoctonia solani* Kühn., ранняя сухая пятнистость – *Macrosphorium solani* (Ell. et Mart.), *Alternaria alternata* (Friser) Keisler, фузариозное увядание – *F. oxysporum* (Schl. et Hans., фитофтороз – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary).

Методологической основой работы послужил системно-альтернативный подход, реализованный в двухфакторном полевом эксперименте [18].

Исследования проведены в 2022–2024 гг. в Новосибирской области в почвенно-климатических условиях, типичных для лесостепной зоны Западной Сибири. Почвенный покров стационара представлен черноземом выщелоченным среднесуглинистым. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы (0–30 см): гумуса (по Тюрину) – около 5,0 %, общего азота (по Кильдалю) – 0,34, фосфора и калия (по Чирикову) – 29,0 и 13,0 мг/100 г почвы соответственно, рН – 6,7–6,8.

Климатические условия характеризуются следующими параметрами: продолжительность безморозного периода – 110–120 дней в году; вегетационного периода для холодаустойчивых растений – около 150 дней (сумма положительных температур выше +5 °C – 2 080–2 160 °C; выше +10 °C – 1 770–1 860 °C (по среднемноголетним данным)). Весенний период наиболее короткий, ветреный, ясный и сухой в году. Характерны возвратные холода в конце апреля и мая. Средняя дата последних заморозков – 20 мая, так же как и последних заморозков на почве, но они возможны и в первой декаде июня. В среднем переход через 0 °C происходит 15 апреля, через +5 °C – 28 апреля, через +10 °C – 15 мая. Для места исследований характерно достаточное, но неустойчивое увлажнение с годовым количеством осадков 350–400 мм и гидротермическим коэффициентом (по Селянинову) 0,9–1,1. За период май – сентябрь обычно выпадает 275 мм осадков, из них за май – июнь – около 100 мм. Максимум их приходится на летнее время – июль и август; минимум – на февраль и март. В период вегетации осадки выпадают часто в виде ливневых дождей, что снижает их эффективность для растений. Повторяемость лет с умеренно дефицитным, дефицитным и острозасушливым типами увлажнения в этом районе составляет 25, 20 и 10 % соответственно. Повторяемость засух в этот период – от 10 до 15 % [19].

Период вегетации 2022 г. по температурному режиму был близок к среднемноголетним значениям. Можно отметить, что третья декада мая и вторая декада июня были несколько теплее, чем обычно. Осадки в текущем вегетационном сезоне распределялись крайне неравномерно. В третьей декаде мая, первой и второй декадах июля, первой и третьей декадах августа увлажнение было недостаточным, осадков выпало соответственно в 13,0; 2,6; 26,0; 6,5 и 4,0 раза меньше в сравнении со среднемноголетними значениями. В остальных случаях количество осадков было близко к климатической норме (табл. 1).

Метеоданные вегетационного периода 2023 г. характеризовались недостатком осадков и повышенными температурами. Выделялся по увлажнению май – количество осадков в третьей декаде было в 8,7 раза меньше среднемноголетних значений. Температура воздуха в первой декаде июня была выше среднемноголетних значений на 7,9 °C, а количество осадков во второй

и третьей декадах месяца меньше в 2,6 и 50,0 раза нормы соответственно. В сумме за месяц приход атмосферной влаги был ниже среднемноголетних значений на 31,6 мм, что меньше в 2,2 раза. Во второй декаде июля температурные показатели были выше нормы на 4,1 °C, а в первой и третьей – выше среднемноголетних значений на 1,9 °C, и в целом за месяц температура была выше среднемноголетних значений на 2,6 °C. Количество выпавших осадков в среднем за месяц было близко к норме. В августе температурный режим был близок к среднемноголетним значениям, при этом в первой и второй декадах температура воздуха была выше нормы на 2,9 и 4,2 °C, а в третьей – близка к среднемноголетним значениям. Количество выпавших за месяц осадков было в 1,7 раза выше нормы. В первой декаде осадков выпало ниже нормы в 30,0 раза, а во второй и третьей – выше в 3,3 и 2,0 раза.

Таблица 1. Метеоусловия вегетационного периода в годы исследований,
АМС Огурцово Новосибирской области, 2022–2024 гг.

Table 1. Weather conditions during the growing season research, AMS Ogurtsovo,
Novosibirsk Region, 2022–2024

Показатель	Месяц, декада										
	Май		Июнь			Июль			Август		
	Третья	Первая	Вторая	Третья	Первая	Вторая	Третья	Первая	Вторая	Третья	
2022 г.											
Температура воздуха, °C	19,0	12,0	19,5	20,2	18,5	18,1	20,0	18,8	15,2	15,7	
Осадки, мм	1,0	16,4	20,5	21,9	7,4	1,0	20,4	3,7	13,6	5,5	
2023 г.											
Температура воздуха, °C	15,2	23,3	17,7	16,0	21,0	23,0	20,8	20,8	14,8	17,7	
Осадки, мм	1,5	5,0	0,4	21,0	13,0	15,0	32,0	0,8	67,0	45,0	
2024 г.											
Температура воздуха, °C	10,3	14,3	19,3	24,6	20,3	22,1	22,3	20,6	18,6	16,1	
Осадки, мм	25,0	25,0	51,0	10,0	19,0	34,0	27,0	38,0	28,0	66,0	
Среднемноголетние значения											
Температура воздуха, °C	13,2	15,4	16,7	18,1	19,1	18,9	18,9	17,9	16,0	13,5	
Осадки, мм	13,0	13,0	20,0	25,0	19,0	26,0	27,0	24,0	20,0	22,0	

Источник: https://meteo9.ru/archive_v_ogurcovo/rze3G.

Соурс: https://meteo9.ru/archive_v_ogurcovo/rze3G.

Метеоданные вегетационного периода 2024 г. существенно отличались от среднемноголетних значений, особенно по влаге. В течение сезона выпадали обильные дожди, часто ливневого характера. В мае, июне и августе был существенный переизбыток атмосферной влаги, в первом месяце осадков выпало 70 мм, во втором – 113 мм, превышая среднемноголетние значения на 94,4 и 94,8 %, в августе их выпало еще больше (132 мм), что составило 201,5 % от среднемноголетней нормы (66 мм). В июле их количество было в пределах нормы. Проливные дожди в сочетании с высокой температурой создавали стрессовую ситуацию для развития картофеля. Суммарное количество осадков за вегетационный период составило 396 мм, превышая среднемноголетние показатели в 1,7 раза. Этот вегетационный период относился к умеренно-переувлажненному. Среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетние значения с мая по август на 1,1; 2,8; 2,6 и 2,6 °C.

Все технологические операции при возделывании культур, если они не являлись предметом исследования, выполняли согласно рекомендациям [20].

Схемы опытов отвечали требованиям методики полевого опыта [21].

Опыт двухфакторный: фактор А – обработка посадочных клубней препаратами на основе хитозана; В – обработка посадок картофеля препаратами на основе хитозана. Эффективность защиты картофеля препаратами на основе хитозана (Хитозан, 2,5 %; Novochizol, 2 %; препарат

№ 1 (Novochizol, 1% / Cu²⁺ 0,98 мг/мл); препарат № 7 (CuSO₄ / Cu²⁺ 1,95 мг/мл); препарат № 8 (Novochizol, 1,45 % / S (20 нм) 0,5 %) и препарат № 12 (Novochizol, 2 % / коллоидная сера 0,5 %)) оценивали путем предпосадочного проправливания семенных клубней и использования данных композиций в период вегетации в фазу бутонизации.

Итоговая схема опыта выглядела следующим образом:

1. Контроль, без обработки клубней и растений.
2. Обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом № 1.
3. Обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом № 12.
4. Обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом № 1.
5. Обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом № 12.
6. Обработка клубней препаратом № 1 + опрыскивание растений препаратом № 1.
7. Обработка клубней препаратом № 1 + опрыскивание растений препаратом № 12.
8. Обработка клубней препаратом № 7 + опрыскивание растений препаратом № 1.
9. Обработка клубней препаратом № 7 + опрыскивание растений препаратом № 12.
10. Обработка клубней препаратом № 8 + опрыскивание растений препаратом № 1.
11. Обработка клубней препаратом № 8 + опрыскивание растений препаратом № 12.
12. Обработка клубней препаратом № 12 + опрыскивание растений препаратом № 1.
13. Обработка клубней препаратом № 12 + опрыскивание растений препаратом № 12.

Получение препаратов на основе хитозана. Хитозановые наносфераe – NovochizolTM предоставлены компанией NOVOCHIZOL SA (Монтеe, Швейцария). Степень деацетилирования составляла не менее 90,0 %, молекулярная масса – 500 кДа.

Водные растворы NovochizolTM получали путем растворения янтарной кислоты (квалификация Ч, 1 000 мг на 100 мл стерильной воды), постепенного добавления NovochizolTM (2 000 мг на 100 мл раствора янтарной кислоты) под ультразвуковым воздействием на смесь в течение 1 ч, с использованием соникатора модели УЗТА-0,4/22-ОМ (U-sonic, Бийск, Россия) на максимальной мощности. Для компенсации испарения, вызванного длительным ультразвуковым воздействием на смесь, добавляли стерильную воду. Раствор затем хранили при +4 °C. Аналогичным образом готовили раствор Хитозана (ChitoClearTM, Исландия).

Препарат, содержащий медь, получали путем добавления к раствору NovochizolTM раствора сульфата меди.

Содержащий серу препарат № 8 готовили добавлением раствора тиосульфата натрия к раствору NovochizolTM с избытком янтарной кислоты при соникации. Растворяли 5,9 г (0,05 моля) янтарной кислоты в 100 мл воды, затем добавляли 2 г NovochizolTM при ультразвуковом воздействии. Тиосульфат натрия пятиводный – 41,35 г (0,167 моля) – растворяли в 80 мл воды и добавляли к раствору NovochizolTM при ультразвуковом воздействии. Полученный препарат серы дialisовали против воды от балластных солей (10 раз по 10 объемов воды), промывные воды отбрасывали. Диализованный препарат упаривали на вакууме до момента активного вспенивания и получали 138 мл раствора (наносуспензии) с концентрацией по NovochizolTM 1,45 % и серы 0,5 % в виде золя 20 нм (согласно данным сканирующей электронной микроскопии). Препарат серы № 12 получен при генерировании коллоидной серы в отдельном реакционном сосуде и промывании образовавшегося осадка дистиллированной водой на следующий день – 10 раз по 10 объемов воды. Такой метод дал, по данным микроскопии, размер частиц более 1 мкм, ввиду отсутствия в реакционной смеси веществ, препятствующих росту коллоидных частиц серы. Далее полученный осадок смешивали с раствором NovochizolTM при ультразвуковом воздействии.

Норма расхода препаратов для предпосадочной обработки клубней 0,5 л/т (расход рабочего раствора 10 л/т) и 0,5 л/га (расход рабочего раствора 300 л/га) по вегетации (в период бутонизации). Вегетирующие растения были обработаны препаратами № 1 и 12.

Особенности формирования фитосанитарной ситуации изучали в посадках среднераннего картофеля сорта Gala.

Повторность опыта – 4-кратная, количество растений в повторности – 20 шт. Густота посадки – 35,7 тыс. растений/га, площадь питания – 0,4 на 0,7 м.

Контроль над сорными растениями осуществляли с помощью гербицидов на основе метрибузина (Метрифар 70, ВГ, 700 г/кг, норма расхода – 0,7–1,4 л/га) и просульфокарба (Боксер, КЭ,

800 г/л, норма расхода – 3–5 л/га). Для ограничения распространения колорадского жука посадки обрабатали инсектоакарицидом биологического происхождения на основе аверсектина С (Фитоверм, КЭ, 50 г/л, норма расхода – 0,4 л/га) [22].

Опыт проводили на естественном инфекционном фоне.

Определение распространенности и развития болезней (макроспориоз, фузариозное увядание, фитофтороз и вирозы) картофеля проводили путем визуальной оценки растений по комплексу симптомов по общепринятым методикам [23, 24].

Учет пораженности растений картофеля ризоктониозом проводили через 4 и 10 недель после посадки культуры по методике J. Frank [25].

Растения выкапывали, отмывали и определяли степень пораженности стеблей картофеля возбудителем черной парши по нижеприведенным показателям:

0 баллов – нет признаков поражения;

1 балл – коричневые штрихи или пятна (длиной 25 мм);

2 балла – пятно или язва до 50 мм;

3 балла – пятно длиной 50 мм, но не окольцовывающее росток (стебель);

4 балла – обширные язвы, почти окольцовывающие росток (стебель), возможна перетяжка;

5 баллов – росток (стебель) полностью окольцован или надломился.

Интенсивность развития ризоктониоза на стеблях определяли по формуле

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{NK} \cdot 100 \%,$$

где R – пораженность, %; a – балл пораженности; b – количество ростков (стеблей) с данным баллом, шт.; $\sum(a \cdot b)$ – сумма произведения числа больных растений по баллам; N – общее число учтенных стеблей, шт.; K – наивысший балл шкалы.

Учет и оценку пораженности клубней ризоктониозом проводили путем определения склероциального индекса [26–28]:

$$Si = \frac{hy + 3,5l + 5m + 6h}{c + hy + l + m + h},$$

где Si – склероциальный индекс; c , hy , l , m , h – масса клубней: c – клубни, свободные от ризоктониоза; hy – клубни с мицелиальной формой (в форме сетчатого некроза, углубленной пятнистости); l – клубни поражены в слабой степени (единичные склероции, занимают до 10 % поверхности клубня); m – клубни поражены в средней степени (склероции занимают 25 % поверхности клубня); h – клубни поражены в сильной степени (склероции занимают 50 % и более поверхности клубня); 3,5; 5 и 6 – цифровые коэффициенты формулы, отражающие степень вредоносности отдельных форм проявления ризоктониоза.

В процессе анализа образцов картофеля клубни (не менее 100 шт. на повторность) распределяли по группам (c , hy , l , m , h), а затем каждую из них взвешивали по отдельности и их массу использовали для подсчета склероциального индекса.

Фенологические наблюдения за культурой, морфометрические показатели (высота растений, масса растений и клубней, количество клубней, количество столонов), полевую всхожесть (количество выпадов растений), а также урожайность картофеля, фракционный состав нового урожая проводили по общепринятым методикам в соответствующие сроки [24].

Результаты обработаны с применением прикладного пакета программ SNEDECOR [29].

Результаты и их обсуждение. Изучение влияния веществ на основе хитозана на всхожесть культуры показало, что наименьшее количество выпадов наблюдали в варианте с препаратом Novochizol, что меньше контрольного значения в 3,1 раза (на 68,0 %). В вариантах с препаратом № 1, Хитозаном и препаратом № 12 данный показатель снижался соответственно в 2,1; 1,7 и 1,5 раза (или на 52,0; 40,0 и 32,0 %). Если посадочные клубни были обработаны препаратами № 7 и 8, то количество выпадов было близко к контрольному значению (меньше в 1,2 раза, или на 16,0 %) (рис. 1).

В начальный период онтогенеза отмечено ростостимулирующее действие изучаемых препаратов. Растения картофеля, выросшие из клубней, обработанных перед посадкой веществами на основе хитозана, достоверно выше контрольных от 2,4 до 4,9 см, или от 8,9 до 18,1 % (рис. 2).

Наибольшая длина растений отмечена в варианте, где посадочный материал был обработан препаратом Novochizol, она была больше на 4,9 см, или на 18,1 %, чем в контроле.

Масса растений (за исключением варианта с композицией № 1, где данный показатель был на уровне контроля) также существенно больше контрольного варианта – от 10,0 до 22,3 г/растение (больше от 11,1 до 24,8 %). Максимума данный показатель достиг в варианте с препаратом № 12.

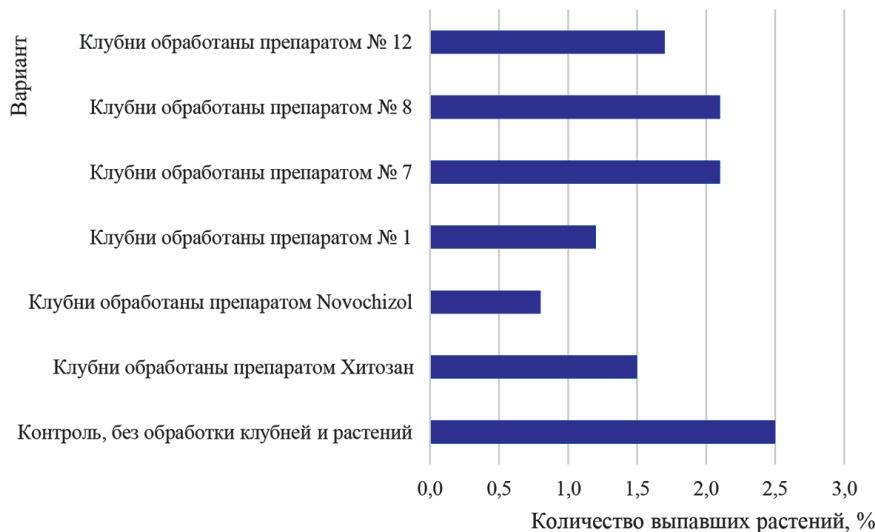


Рис. 1. Влияние обработки посадочных клубней препаратами на основе хитозана на густоту стояния растений картофеля, 2022–2024 гг.

Fig. 1. The effect of treating planting tubers with chitosan-based agents on the plant density of potato plants, 2022–2024

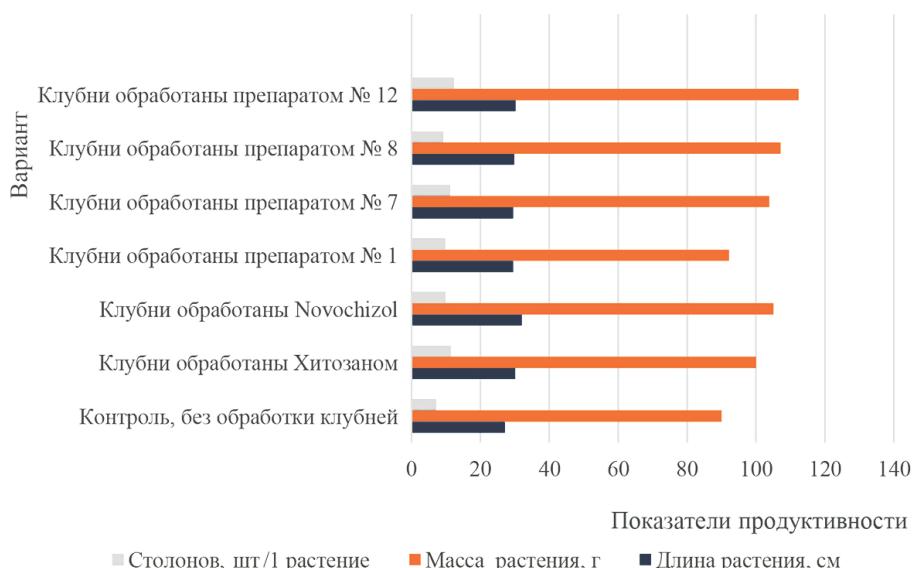


Рис. 2. Влияние обработки посадочных клубней препаратами на основе хитозана на морфометрические показатели растений картофеля в период полных всходов, 2022–2024 гг.; НСР₀₅: количество столонов – 1,6; масса растения – 3,3; длина растения – 2,2

Fig. 2. The effect of treating planting tubers with chitosan-based agents on the morphometric parameters of potato plants during the phase of full sprouting, 2022–2024; LSD₀₅: number of stolons – 1,6, mass of plant – 3,3, length of plant – 2,2

Использование для обработки семенного материала веществ на основе хитозана значимо увеличивало количество образовавшихся столонов – от 2,0 до 5,2 шт/растение (от 28,2 до 73,2 %), их наибольшее количество было в варианте с композицией № 12. Также близкое к вышенназванному варианту количество столонов отмечено при нанесении на посадочные клубни Хитозана и вещества № 7, в этих случаях данный показатель был больше контроля на 4,1–4,3 шт/растение (на 57,7–60,6 %).

Дальнейшее наблюдение за растениями в более поздние фазы онтогенеза показало, что все изученные препараты (за исключением вариантов обработка клубней препаратом № 12 + опрыскивание растений по вегетации препаратом № 1 и обработка клубней препаратом № 7 + опрыскивание растений по вегетации препаратом № 12) существенно увеличивали длину стеблей картофеля к периоду созревания культуры – от 1,9 до 5,4 см (от 3,2 до 9,0 %). Наибольшей длины растения достигали в вариантах: обработка клубней Хитозаном и препаратом № 1 в сочетании с опрыскиванием растений по вегетации препаратом № 1 и обработкой клубней препаратом № 8 + опрыскивание растений по вегетации препаратом № 12. В этих случаях длина стебля была больше на 5,0; 5,4 и 4,8 см соответственно, или на 8,3; 9,0 и 8,0 % (табл. 2).

Таблица 2. Влияние обработки картофеля препаратами на основе хитозана на морфометрические показатели культуры (фаза созревания), 2022–2024 гг.

Table 2. The influence of potato tubers treatment with chitosan-based agents on the morphometric parameters of the crop (ripening phase), 2022–2024

Вариант обработки по клубням	Вариант обработки по вегетирующему растению	Длина, см	Масса 1 растения, г	Столонов, шт/1 растение	Количество клубней, шт/1 растение	Масса клубней, г/1 растение
Контроль, без обработки клубней и растений		60,0	346,8	12,8	8,8	450,0
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 1	65,0	457,1	12,7	9,3	500,2
Novochizol		63,3	510,4	20,0	11,2	566,2
Препарат 1		65,4	476,2	14,0	10,2	452,0
Препарат 7		64,7	480,0	13,6	10,2	494,6
Препарат 8		61,9	517,9	20,1	10,0	542,5
Препарат 12		59,3	392,5	18,0	11,4	452,5
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 12	63,7	468,3	15,9	12,1	456,6
Novochizol		64,4	473,3	16,3	10,2	487,1
Препарат 1		62,2	422,1	10,5	9,5	393,3
Препарат 7		61,3	560,4	17,1	12,3	555,8
Препарат 8		64,8	472,1	13,1	12,6	527,9
Препарат 12		62,1	481,7	14,7	10,3	510,0
HCP ₀₅		1,8	12,7	1,5	0,6	14,7

Массу одного растения значимо повышали все использованные в опыте препараты – от 45,7 до 213,6 г (от 13,2 до 61,6 %). Наибольшая масса отмечена в варианте с обработкой клубней препаратом № 7 и опрыскиванием растений по вегетации препаратом № 12.

Количество столонов на одном растении достоверно возрастало при обработке картофеля по клубням Novochizol, препараты № 8 и 12 в комбинации с опрыскиванием растений препаратом № 1, а также при обработке посадочного материала Хитозаном, Novochizol, препаратами № 7 и 12 в сочетании с препаратом № 12 по вегетации – от 1,9 до 7,3 шт. (от 14,8 до 57,0 %). Максимума данный показатель достигал в варианте с обработкой клубней препаратом № 8 и опрыскиванием растений препаратом № 1.

Количество клубней на одном растении в сравнении с контролем также существенно увеличивали все изученные комбинации веществ (за исключением варианта, где семенные клубни обработали Хитозаном, а растения препаратом № 1) – от 0,7 до 3,8 шт. (от 8,0 до 43,2 %). Наибольшее число клубней получено от растений, выросших из клубней, обработанных препаратом № 8 и опрыснутых препаратом № 12.

Массу клубней с одного растения достоверно повышала обработка посадочных клубней Хитозаном в комбинации с опрыскиванием растений препаратом № 1, обработка клубней Novochizol препаратами № 7 и 8 в сочетании с опрыскиванием растений препаратами № 1 и 12, а также нанесение препарата № 12 как на семенной материал, так и по вегетации на растения – от 37,1 до 116,2 г, или от 8,2 до 25,8 %. Наибольшего значения данный показатель достиг в варианте с обработкой клубней Novochizol и опрыскиванием картофеля препаратом № 1.

Статистическая обработка данных показала, что взаимодействие двух факторов (обработка клубней перед посадкой и опрыскивание растений в период вегетации) имеет аддитивный характер и достигает 99,0 %. Доля влияния на морфометрические показатели растений первого фактора доминировала и составляла 86,9–99,8 %, в то время как второго в этот период была незначительной – 0,2–2,1 %. Изучение фитосанитарного состояния посадок культуры в фазу полных всходов в отношении ризоктониоза картофеля показало, что все препараты значимо снижали развитие ризоктониоза на растениях картофеля. Обработка клубней перед посадкой препаратами № 1 и 7 больше всего влияла на патогенез гриба *Rhizoctonia solani* – развитие болезни уменьшилось на 14,3–14,6 %. Далее по эффективности шли композиции № 8 и 12. В этих случаях данный показатель был ниже на 13,3–13,6 %. Хитозан и Novochizol менее всего среди всех исследованных веществ влияли на процесс развития заболевания. Они уменьшали его интенсивность на 6,7–9,1 % в сравнении с контролем (рис. 3).

Дальнейший мониторинг ризоктониоза картофеля на стеблях показал, что угнетающее действие на возбудителя ризоктониоза продолжали оказывать такие комбинации препаратов, как Хитозан (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка по вегетации), Novochizol (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка по вегетации) и препарат № 12 (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка по вегетации). В этих случаях развитие болезни достоверно снижалось на 7,3; 8,8 и 8,1 % соответственно в сравнении с контролем. Также в этот период в ряде случаев было выявлено существенное стимулирование развития гриба на растениях в таких вариантах, как препарат № 1 (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка по вегетации), препарат № 7 (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка по вегетации) и препарат № 8 (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка по вегетации) – развитие ризоктониоза значительно возросло (на 5,1–10,3 %) (рис. 4).

Изучаемые препараты оказали влияние и на фитосанитарную ситуацию в посадках культуры (табл. 3).

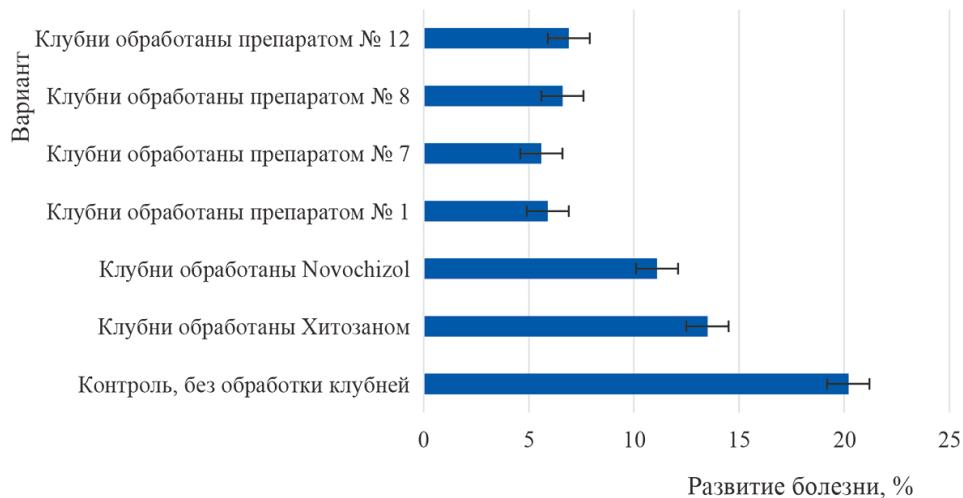


Рис. 3. Влияние препаратов на основу хитозана на развитие ризоктониоза картофеля в фазу полных всходов, 2022–2024 гг.

Fig. 3. The influence of chitosan-based agents on the development of potato rhizoctonia in the phase of full sprouting, 2022–2024

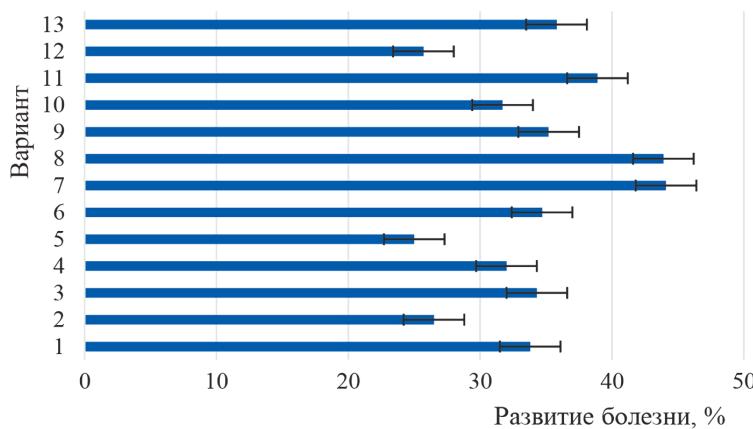


Рис. 4. Влияние препаратов на основе хитозана на развитие ризоктониоза картофеля в фазу созревания, 2022–2024 гг.:

1 – контроль, без обработки клубней и растений; 2 – обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом 1; 3 – обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом 12; 4 – обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом 1; 5 – обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом 12; 6 – обработка клубней препаратом 1 + опрыскивание растений препаратом 1; 7 – обработка клубней препаратом 1 + опрыскивание растений препаратом 12; 8 – обработка клубней препаратом 7 + опрыскивание растений препаратом 1; 9 – обработка клубней препаратом 7 + опрыскивание растений препаратом 12; 10 – обработка клубней препаратом 8 + опрыскивание растений препаратом 1; 11 – обработка клубней препаратом 8 + опрыскивание растений препаратом 12; 12 – обработка клубней препаратом 12 + опрыскивание растений препаратом 1; 13 – обработка клубней препаратом 12 + опрыскивание растений препаратом 12

Fig. 4. The influence of chitosan-based agents on the development of potato rhizoctonia in the ripening phase, 2022–2024:
 1 – control, without treatment of tubers and spraying plants; 2 – treatment of tubers with Chitosan + spraying of plants agent 1;
 3 – treatment of tubers with Chitosan + spraying of plants agent 12; 4 – treatment of tubers with Novochizol + spraying
 of plants agent 1; 5 – treatment of tubers with Novochizol + spraying of plants agent 12; 6 – treatment of tubers
 agent 1 + spraying of plants agent 1; 7 – treatment of tubers agent 1 + spraying of plants agent 12; 8 – treatment
 of tubers agent 7 + spraying of plants agent 1; 9 – treatment of tubers agent 7 + spraying agent 12; 10 – treatment
 of tubers agent 8 + spraying of plants agent 1; 11 – treatment of tubers agent 8 + spraying of plants agent 12;
 12 – treatment of tubers agent 12 + spraying of plants agent 1; 13 – treatment of tubers agent 12 + spraying plants agent 12

Таблица 3. Влияние обработки картофеля препаратами на основе хитозана на фитосанитарное состояние посадок культуры, 2022–2024 гг.

Table 3. The influence of potato treatment with chitosan-based agents on the phytosanitary condition of crop plantings, 2022–2024

Вариант обработки по клубням	Вариант обработки по вегетирующему растениям	Распространенность, %				Развитие фитофтороза, балл
		вирозы	макроспориоз	фузаризное увядания	фитофтороз	
Контроль, без обработки клубней и растений		5,0	35,0	0	100,0	2,8
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 1	5,0	10,0	0	100,0	2,5
Novochizol		5,0	15,0	0	100,0	2,0
Препарат 1		2,5	7,5	0	100,0	1,5
Препарат 7		5,0	10,0	5	100,0	1,5
Препарат 8		2,5	20,0	0	100,0	1,5
Препарат 12		7,5	7,5	0	100,0	1,5
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 12	7,5	15,0	5	100,0	2,5
Novochizol		2,5	10,0	0	100,0	2,0
Препарат 1		7,5	7,5	0	100,0	2,5
Препарат 7		0	5,0	0	100,0	2,0
Препарат 8		7,5	17,5	5	100,0	2,0
Препарат 12		7,5	12,5	0	100,0	2,0

Так, использование комбинации препарат № 7 (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка по вегетации) позволило полностью избежать поражения картофеля вирусными заболеваниями. В два раза меньше их было в сравнении с контролем при обработке клубней препаратами № 1 и 8 в сочетании с обработкой по вегетации препаратом № 1, а также при обработке посадочного материала Novochizol в комплексе с обработкой растений препаратом № 12. Распространенность макроспориоза во всех вариантах опыта было ниже контрольного значения от 10,0 до 30,0 %, минимальное количество растений с данным заболеванием отмечено в варианте препарат № 7 (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка по вегетации). При 100%-м распространении фитофтороза его развитие на начальном этапе поражения имело различия и было меньше, чем в контроле. Минимальное его развитие отмечено в случае обработки посадочных клубней препаратами № 1, 7, 8 и 12 и обработки растений в период вегетации препаратом № 1.

Было установлено, что использование для обработки картофеля препаратов на основе хитозана в различных комбинациях влияет на фракционный состав клубней нового урожая незначительно (табл. 4).

Таблица 4. Влияние препаратов на основе хитозана на фракционный состав урожая, 2022–2024 гг.

Table 4. The influence of chitosan-based agents on the fractional composition of the crop, 2022–2024

Вариант обработки по клубням	Вариант обработки по вегетирующим растениям	Фракции, %		
		крупная	средняя	мелкая
Контроль, без обработки клубней и растений		10,8	87,3	2,0
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 1	15,1	83,5	1,4
Novochizol		12,5	85,9	1,6
Препарат 1		11,6	86,4	2,0
Препарат 7		10,3	87,5	2,2
Препарат 8		10,3	87,4	2,2
Препарат 12		13,0	85,3	1,6
Хитозан		12,3	85,9	1,8
Novochizol	Опрыскивание растений препаратом 12	12,5	85,1	2,4
Препарат 1		14,3	84,8	1,0
Препарат 7		10,7	84,2	5,1
Препарат 8		9,1	89,5	1,4
Препарат 12		17,1	81,1	1,7

Так, наибольшее количество продовольственной (крупной фракции) отмечено в следующих вариантах: Хитозан (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка растений) и препарат № 1 (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка растений), где показатель был выше контрольного на 3,5–4,3 %. Во всех вариантах опыта преобладала семенная (средняя) фракция – от 81,1 до 89,5 %.

Во всех вариантах опыта использование препаратов на основе хитозана достоверно повышало продуктивность картофеля от 1,4 до 6,9 т/га (от 10,7 до 52,7 %). Максимальная урожайность культуры отмечена в варианте препарат № 12 (обработка клубней) + препарат № 12 (обработка по вегетации) (табл. 5).

Было установлено, что все изученные комбинации препаратов на основе хитозана оздоравливают клубни нового урожая от ризоктониоза (табл. 6).

Количество здоровых клубней возрастило от 5,5 до 15,7 %. При опрыскивании посадок препаратом № 1 наибольший выход здоровых клубней отмечен при обработке посадочного материала препаратом № 12 – 59,4 %, что на 15,7 % больше, чем в контроле, а при обработке семенных клубней Novochizol и препаратом № 1 в комплексе с опрыскиванием растений по вегетации препаратом № 12 – 58,1 и 58,3 % соответственно, что больше на 14,4 и 14,6 %.

Таблица 5. Влияние препаратов на основе хитозана на продуктивность картофеля, 2022–2024 гг.

Table 5. The influence of chitosan-based agents on potato productivity, 2022–2024

Вариант обработки по клубням	Вариант обработки по вегетирующим растениям	Урожайность, т/га	Прибавка урожая	
			т/га	%
Контроль, без обработки клубней и растений		13,1	—	—
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 1	15,4	2,3	17,6
Novochizol		17,0	3,9	29,8
Препарат 1		16,8	3,7	28,2
Препарат 7		16,0	2,9	22,1
Препарат 8		18,2	5,1	38,9
Препарат 12		17,8	4,7	35,9
Хитозан		14,5	1,4	10,7
Novochizol	Опрыскивание растений препаратом 12	17,0	3,9	29,8
Препарат 1		16,5	3,4	26,0
Препарат 7		17,5	4,4	33,6
Препарат 8		18,2	5,1	38,9
Препарат 12		20,0	6,9	52,7
HCP ₀₅		1,0	—	—

Таблица 6. Влияние обработки картофеля препаратами на основе хитозана на фитосанитарное состояние клубней нового урожая

Table 6. The effect of potato treatment with chitosan-based agents on the phytosanitary condition of new crop tubers

Вариант обработки по клубням	Вариант обработки по вегетирующим растениям	Количество клубней, %		
		здоровых	с формами ризоктониоза	
			склероциальные	неклероциальные
Контроль, без обработки клубней и растений		43,7	12,0	41,5
Хитозан	Опрыскивание растений препаратом 1	55,2	11,7	36,4
Novochizol		56,4	4,8	38,9
Препарат 1		50,6	10,4	38,5
Препарат 7		57,9	8,9	33,1
Препарат 8		50,3	8,2	41,3
Препарат 12		59,4	7,3	34,0
Хитозан		56,0	9,0	34,3
Novochizol	Опрыскивание растений препаратом 12	58,1	5,2	39,1
Препарат 1		58,3	7,8	34,2
Препарат 7		49,2	11,1	39,9
Препарат 8		50,1	6,6	46,3
Препарат 12		52,4	9,1	41,3

Во всех вариантах опыта использование препаратов на основе хитозана снижало число клубней со склероциальными формами ризоктониоза от 0,3 до 7,2 %. Наименьшее их количество отмечено в варианте Novochizol (обработка клубней) + препарат № 1 (обработка растений). Также в большинстве случаев наблюдалось снижение распространенности несклероциальных форм заболевания (сетчатый некроз, углубленная пятнистость, трещины, уродливость) от 0,2 до 8,4 % (см. табл. 6).

Для полной характеристики фитосанитарного состояния клубней нового урожая в отношении ризоктониоза используют такой показатель, как склероциальный индекс. Исследования показали, что его наименьшие значения были в вариантах с обработкой посадочных клубней препаратом Novochizol в сочетании с препаратом № 1 или № 12 – 0,58–0,59, что меньше контроля в 1,5 раза (рис. 5).

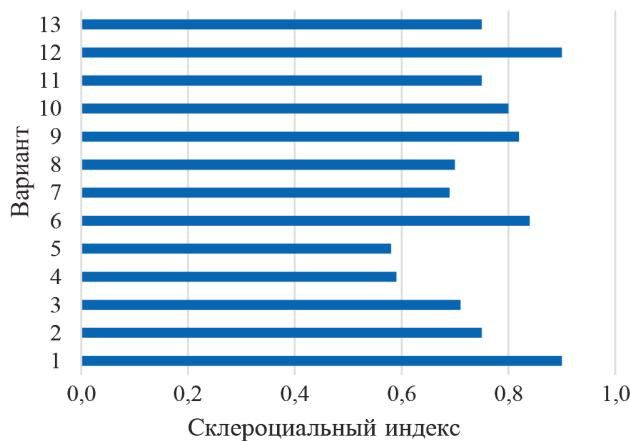


Рис. 5. Влияние препаратов на основе хитозана на заселенность клубней картофеля нового урожая всеми формами ризоктониоза, 2022–2024 гг.: 1 – контроль, без обработки клубней и растений; 2 – обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом 1; 3 – обработка клубней Хитозаном + опрыскивание растений препаратом 12; 4 – обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом 1; 5 – обработка клубней Novochizol + опрыскивание растений препаратом 12; 6 – обработка клубней препаратом 1 + опрыскивание растений препаратом 1; 7 – обработка клубней препаратом 1 + опрыскивание растений препаратом 12; 8 – обработка клубней препаратом 7 + опрыскивание растений препаратом 12; 10 – обработка клубней препаратом 8 + опрыскивание растений препаратом 1; 11 – обработка препаратом 8 + опрыскивание растений препаратом 12; 12 – обработка клубней препаратом 12 + опрыскивание растений препаратом 1; 13 – обработка клубней препаратом 12 + опрыскивание растений препаратом 12

Fig. 5. The influence of chitosan-based agents on the colonization of new-crop potato tubers by all forms of rhizoctonia, 2022–2024: 1 – control, without treatment of tubers and spraying plants; 2 – treatment of tubers with Chitosan + spraying of plants agent 1; 3 – treatment of tubers with Chitosan + spraying of plants agent 12; 4 – treatment of tubers with Novochizol + spraying of plants agent 1; 5 – treatment of tubers with Novochizol + spraying of plants agent 12; 6 – treatment of tubers agent 1 + spraying of plants agent 1; 7 – treatment of tubers agent 1 + spraying of plants agent 12; 8 – treatment of tubers agent 7 + spraying of plants agent 1; 9 – treatment of tubers agent 7 + spraying agent 12; 10 – treatment of tubers agent 8 + spraying of plants agent 1; 11 – treatment of tubers agent 8 + spraying of plants agent 12; 12 – treatment of tubers agent 12 + spraying of plants agent 1; 13 – treatment of tubers agent 12 + spraying plants agent 12

Выводы. Препараты на основе хитозана повышали всхожесть культуры в 1,2–3,1 раза за счет снижения количества выпадов.

Все препараты на основе хитозана в той или иной мере обладали ростостимулирующей активностью, они достоверно увеличивали высоту растений на 3,2–18,1 %, массу растений – на 11,1–24,8 %, а количество столонов – на 14,8–73,2 %, количество клубней – на 8,0–43,2 %, а их массу на 8,2–25,8 %.

Изученные препараты оказывали влияние на развитие ризоктониоза. При использовании в технологиях возделывания картофеля препаратов на основе хитозана в фазу всходов все препараты значимо снижали данный показатель – на 6,7–14,6 %, а в фазу созревания – на 1,8–8,8 %.

Установлено, что препараты на основе хитозана оздоравливали посадки культуры от болезней грибной и вирусной этиологии. Комбинация препарата № 7 (обработка клубней) и препарата № 12 (опрыскивание растений) полностью подавляла вирусы. Распространенность макроспориоза во всех вариантах опыта была ниже контрольного значения от 10,0 до 30,0 %, минимальное количество растений с данным заболеванием отмечено в варианте препарата № 7 (обработка клубней) + препарата № 12 (обработка по вегетации). При 100%-м распространении фитофтороза его развитие на начальном этапе поражения имело различия и было меньше, чем в контроле. Минимальное его развитие (1,5 балла; контроль – 2,8 балла) отмечено в случае обработки посадочных клубней препаратами № 1, 7, 8 и 12 и обработки растений в период вегетации препаратом № 1.

Во всех вариантах опыта использование препаратов на основе хитозана достоверно повышало продуктивность картофеля. Урожайность культуры при использовании новых препаратов варьировала в среднем за три года от 14,5 до 20,0 т/га в зависимости от комбинаций изучаемых веществ. Прибавка урожая от использования препаратов составила от 1,4 до 6,9 т/га (от 10,7 до 52,7 %). Максимальная урожайность культуры отмечена в варианте препарата № 12 (обработка клубней) + препарата № 12 (обработка по вегетации).

Список использованных источников

1. Кирюшин, В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.
2. Санин, С. С. Стратегия современной защиты растений при интенсивном зернопроизводстве / С. С. Санин // Вестник ОрелГАУ. – 2017. – № 3 (66). – С. 35–39. <http://dx.doi.org/10.15217/48484>
3. Тютерев, С. Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам / С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2015. – № 1 (83). – С. 3–13.
4. Системы земледелия и их особенности с учетом требований экономики и экологии / А. Ч. Скируха, А. П. Гвоздов, Л. А. Булавин [и др.] // Экономика и банки. – 2019. – № 2. – С. 73–83.
5. Соколов, Ю. А. Эллиситоры и их применение в растениеводстве / Ю. А. Соколов. – Мин.: Бел. навука, 2016. – 201 с.
6. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries / D. K. Vu, R. G. Hollingsworth, E. Leroux [et al.] // Food Research International. – 2011. – Vol. 44, № 1. – P. 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.037>
7. Тютерев, С. Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве / С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2000. – № 1. – С. 11–35.
8. Festa, R. A. Copper: an essential metal in biology / R. A. Festa, D. J. Thiele // Current Biology. – 2011. – Vol. 21, № 21. – P. R877–R883. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.09.040>
9. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Л. Е. Колесников, Э. В. Попова, И. И. Новикова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 5. – С. 1024–1040. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>
10. Лазарев, А. П. Скорость разложения послеуборочных остатков полевых культур в черноземах за осенне-весенний и годовой периоды / А. П. Лазарев, Д. Р. Майсямова // Почвоведение. – 2006. – № 6. – С. 751–757.
11. Кабашникова, Л. Ф. Прайминг защитных реакций в растениях при патогенезе: приобретенный иммунитет / Л. Ф. Кабашникова // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2020. – № 4. – С. 19–29. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-19-29>
12. Вохидова, Н. Р. Фунгицидные свойства наносистем хитозана *Bombyx Mori* с ионами меди / Н. Р. Вохидова, М. Э. Саттаров, Н. Д. Карева, С. Ш. Рашидова // Микробиология. – 2014. – Т. 83, № 6. – С. 653–655. <https://doi.org/10.7868/S0026365614060214>
13. Христева, Л. А. О природе воздействия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения: теория и практика их применения / Днепропетр. с.-х. ин-т ; ред.: С. С. Драгунов, В. П. Попов, Л. А. Христева. – Киев, 1968. – Ч. 3. – С. 13–27.
14. Бактериозы картофеля в Российской Федерации / А. Н. Игнатов, Ю. С. Панычева, М. В. Воронина, Ф. С. Джалилов // Картофель и овощи. – 2018. – № 1. – С. 3–7.
15. Федотова, Л. С. Влияние аминокислотных препаратов на преодоление гербицидного стресса картофеля / Л. С. Федотова, Н. А. Тимошина, Е. В. Князева // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 6 (378). – С. 90–93. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16123>
16. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants / K. Zarzecka, M. Gugała, I. Mystkowska, A. Sikorska // Plant, Soil and Environment. – 2021. – Vol. 67, № 4. – P. 202–207. <https://doi.org/10.17221/622/2020-PSE>
17. Gazdanova, I. The effectiveness of the use of biological preparations in the production of potatoes / I. Gazdanova, F. Gerieva, T. Morgoev // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2022. – Vol. 28, № 2. – P. 212–216.
18. Кирюшин, В. И. Методологическая концепция развития земледелия в Сибири / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 1989. – № 12. – С. 7–14.
19. Воронина, Л. В. Климат и экология Новосибирской области / Л. В. Воронина, А. Г. Гриценко. – Новосибирск: Сиб. гос. геодез. акад., 2011. – 227 с.
20. Овощные культуры и картофель в Сибири / Рос. акад. с-х наук, Сиб. регион. отд-ние, Сиб. науч.-исслед. ин-т растениеводства и селекции; сост.: Г. К. Машьянова, Е. Г. Гринберг, Т. В. Штайнерт. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: [б. и.], 2010. – 523 с.
21. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 6-е изд., стер. – М.: Альянс, 2011. – 351 с.
22. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022: ежегодник. – М.: Листерра, 2022. – Вып. 26. – 933 с.
23. Ганнибал, Ф. Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: метод. пособие / Ф. Б. Ганнибал; науч. ред. М. М. Левитин. – СПб.: [б. и.], 2011. – 71 с.
24. Методика исследований по культуре картофеля / ВАСХНИЛ, Науч.-исслед. ин-т картоф. хоз-ва: редкол.: Н. С. Бацанов (отв. ред.) [и др.]. – М.: [б. и.], 1967. – 263 с.
25. Frank, J. Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani* / J. Frank, S. S. Leach, R. E. Webb // Plant Disease Reporter. – 1976. – Vol. 60, № 11. – P. 910–912.
26. Jager, J. Suppression of *Rhizoctonia solani* in potato fields. 1. Occurrence / J. Jager, H. Velvis // Netherlands Journal of Plant Pathology. – 1983. – Vol. 89, № 1–2. – P. 21–29. <https://doi.org/10.1007/bf01974441>
27. Jager, J. Suppression of *Rhizoctonia solani* in potato fields. II. Effect of origin and degree of infection with *Rhizoctonia solani* of seed potatoes on subsequence infestation and formation of sclerotia / J. Jager, H. Velvis // Netherlands Journal of Plant Pathology. – 1983. – Vol. 89, № 4. – P. 141–152.

28. Шалдяева, Е. М. Ризоктониоз картофеля: склероциальный индекс / Е. М Шалдяева, Ю. В. Пилипова // Защита и карантин растений. – 1999. – № 5. – С. 16–17.

29. Сорокин, О. Д. Прикладная статистика на компьютере / О. Д. Сорокин. – 2-е изд. – Новосибирск: [б. и.], 2012. – 282 с.

References

1. Kiryushin V. I. *Theory of adaptive landscape farming and design of agro-landscapes*. Moscow, KolosS Publ., 2011. 443 p. (in Russian).
2. Sanin S. S. The strategy of modern plant protection at intensive grain production. *Vestnik OrelGAU*, 2017, no. 3 (66), pp. 35–39 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.15217/48484>
3. Tyuterev S. L. Ecologically safe inducers of plant resistance to diseases and physiological stresses. *Vestnik zashchity rastenii = Plant Protection News*, 2015, no. 1 (83), pp. 3–13 (in Russian).
4. Skirukha A. Ch., Gvozdov A. P., Bulavin L. A., Nilova O. V., Filipenko V. S. Agriculture systems and their features taking into account requirements economy and ecology. *Ekonomika i banki = Economy and Banks*, 2019, no. 2, pp. 73–83 (in Russian).
5. Sokolov Yu. A. *Elicitors and their application in plant cultivation*. Minsk, Belarusskaya navuka Publ., 2016. 201 p. (in Russian).
6. Vu D. K., Hollingsworth R. G., Leroux E., Salmieri S., Lacroix M. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International*, 2011, vol. 44, no. 1, pp. 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.037>
7. Tyuterev S. L. Physiological and biochemical foundations of managing plant stress resistance in adaptive crop production. *Vestnik zashchity rastenii = Plant Protection News*, 2000, no. 1, pp. 11–35 (in Russian).
8. Festa R. A., Thiele D. J. Copper: an essential metal in biology. *Current Biology*, 2011, vol. 21, no. 21, pp. R877–R883. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.09.040>
9. Kolesnikov L. E., Popova E. V., Novikova I. I., Priyatkin N. S., Arkhipov M. V., Kolesnikova Yu. R., Potrakhov N. N., Van Duijn V., Gusarenko A. S. Multifunctional biologics which combine microbial anti-fungal strains with chitosan improve soft wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and grain quality. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2019, vol. 54, no. 5, pp. 1024–1040 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>
10. Lazarev A. P., Maisyamova D. R. The decomposition of after harvest residues in chernozems during the autumn–spring period and in the annual cycle. *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, no. 6, pp. 676–682. <https://doi.org/10.1134/s1064229306060135>
11. Kabashnikova L. F. Priming of defense reaction in plants under patogenesis: induced immunity. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya = Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 2020, no. 4, pp. 19–29 (in Russian). <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-19-29>
12. Vokhidova N. R., Kareva N. D., Rashidova S. S., Sattarov M. E. Fungicide features of the nanosystems of silkworm (*Bombyx mori*) chitosan with copper ions. *Microbiology*, 2014, vol. 83, no. 6, pp. 751–753. <https://doi.org/10.1134/s0026261714060204>
13. Khristeva L. A. On the nature of the effects of physiologically active forms of humic acids and other plant growth stimulators. *Humic fertilizers: theory and practical application. Part 3*. Kiev, 1968, pp. 13–27 (in Russian).
14. Ignatov A. N., Panycheva Yu. S., Voronina M. V., Dzhalilov F. S. Potato bacterial pathogens in Russia. *Kartofel'i ovoshchi = Potato and Vegetables*, 2018, no. 1, pp. 3–7 (in Russian).
15. Fedotova L. S., Timoshina N. A., Knyazeva E. V. Influence of amino acid preparations on potato's herbicidal stress coping. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2020, no. 6 (378), pp. 90–93 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16123>
16. Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., Sikorska A. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants. *Plant, Soil and Environment*, 2021, vol. 67, no. 4, pp. 202–207. <https://doi.org/10.17221/622/2020-PSE>
17. Gazdanova I., Gerieva F., Morgev T. The effectiveness of the use of biological preparations in the production of potatoes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 212–216.
18. Kiryushin V. I. Methodological concept for the development of farming in Siberia. *Zemledelie*, 1989, no. 12, pp. 7–14 (in Russian).
19. Voronina L. V., Gritsenko A. G. *Climate and ecology of the Novosibirsk region*. Novosibirsk, Siberian State Academy of Geodesy, 2011. 227 p. (in Russian).
20. Mash'yanova G. K., Grinberg E. G., Shtainert T. V. (comp.). *Vegetable crops and potatoes in Siberia*. Novosibirsk, 2010. 523 p. (in Russian).
21. Dospekhov B. A. *Methodology of field experimentation (with fundamentals of statistical processing of research results)*. 6th ed. Moscow, Al'yans Publ., 2011. 351 p. (in Russian).
22. *Handbook of Pesticides and Agrochemicals approved for use in the Russian Federation, 2022: yearbook. Issue 26*. Moscow, Listerra Publ., 2022. 933 p. (in Russian).
23. Gannibal F. B. *Monitoring of Alternaria diseases in agricultural crops and identification of fungi of the genus Alternaria: a methodological guide*. St. Petersburg, 2011. 71 p. (in Russian).
24. Research Institute of Potato Farming. *Research methodology on potato culture*. Moscow, 1967. 263 p. (in Russian).
25. Frank J., Leach S. S., Webb R. E. Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani*. *Plant Disease Reporter*, 1976, vol. 60, no. 11, pp. 910–912.

26. Jager J., Velvis H. Suppression of *Rhizoctonia solani* in potato fields. I. Occurrence. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 1983, vol. 89, no. 1–2, pp. 21–29. <https://doi.org/10.1007/bf01974441>
27. Jager J., Velvis H. Suppression of *Rhizoctonia solani* in potato fields. II. Effect of origin and degree of infection with *Rhizoctonia solani* of seed potatoes on subsequent infestation and formation of sclerotia. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 1983, vol. 89, no. 4, pp. 141–152. <https://doi.org/10.1007/bf01999843>
28. Shaldayeva E. M., Pilipova Yu. V. Rhizoctonia of potato: sclerotial index. *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*, 1999, no. 5, pp. 16–17 (in Russian).
29. Sorokin O. D. *Applied statistics on the computer*. 2nd ed. Novosibirsk, 2012. 282 p. (in Russian).

Інформація об авторах

Малюга Анна Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории защиты зерновых и картофеля отдела защиты растений, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (ул. Центральная, 9, 630501, Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, Российская Федерация). AuthorID: 195390, <https://orcid.org/0000-0001-9729-2668>. E-mail: anna_malyuga@mail.ru

Чулікова Наталья Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты зерновых и картофеля отдела защиты растений, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (ул. Центральная, 9, 630501, Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, Российская Федерация). AuthorID: 628250, <https://orcid.org/0000-0001-5815-9653>. E-mail: natalya-chulikova@yandex.ru

Еніна Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты зерновых и картофеля отдела защиты растений, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (ул. Центральная, 9, 630501, Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, Российская Федерация). AuthorID: 762439. E-mail: natalnikenina@mail.ru

Гутіна Екатерина Маратовна – лаборант-исследователь лаборатории защиты зерновых и картофеля отдела защиты растений, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (ул. Центральная, 9, 630501, Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, Российская Федерация). E-mail: ecaterina.gutina@yandex.ru

Фоменко Владислав Викторович – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории физиологически активных веществ, Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (пр. Академика Лаврентьева, 9, 630090, Новосибирск, Российская Федерация). AuthorID: 49244, <https://orcid.org/0000-0003-1827-3309>. E-mail: fomenko@nioch.nsc.ru

Салахутдинов Нариман Фаридович – член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологически активных веществ, Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (пр. Академика Лаврентьева, 9, 630090, Новосибирск, Российская Федерация). AuthorID: 44446, <https://orcid.org/0000-0001-8512-4309>. E-mail: anvar@nioch.nsc.ru

Information about the authors

Anna A. Malyuga – Dr. Sc. (Agriculture) of the Chief Researcher of the Laboratory of Grain and Potato Protection of the Plant Protection Department, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (9, Sentralnaya St., Krasnoobsk, 630501, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Russian Federation). AuthorID: 195390, <https://orcid.org/0000-0001-9729-2668>. E-mail: anna_malyuga@mail.ru

Natalya S. Chulikova – Ph. D. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory of Grain and Potato Protection of the Plant Protection Department, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (9, Sentralnaya St., Krasnoobsk, 630501, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Russian Federation). AuthorID: 628250, <https://orcid.org/0000-0001-5815-9653>. E-mail: natalya-chulikova@yandex.ru

Natalya N. Enina – Ph. D. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory of Grain and Potato Protection of the Plant Protection Department, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (9, Sentralnaya St., Krasnoobsk, 630501, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Russian Federation). AuthorID: 762439. E-mail: natalnikenina@mail.ru

Ekaterina M. Gutina – Research Lab Assistant of the Laboratory of Grain and Potato Protection of the Plant Protection Department, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (9, Sentralnaya St., Krasnoobsk, 630501, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Russian Federation). E-mail: ecaterina.gutina@yandex.ru

Vladislav V. Fomenko – Ph. D. (Chemistry), Research of the Laboratory of Physiologically Active Substances, N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (9, Lavrentiev Ave., 630090, Novosibirsk, Russian Federation). AuthorID: 49244, <https://orcid.org/0000-0003-1827-3309>. E-mail: fomenko@nioch.nsc.ru

Nariman F. Salakhutdinov – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory of Physiologically Active Substances, N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (9, Lavrentiev Ave., 630090, Novosibirsk, Russian Federation). AuthorID: 44446, <https://orcid.org/0000-0001-8512-4309>. E-mail: anvar@nioch.nsc.ru

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ И ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА
ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

УДК 631.223.6.015:628.854.3
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-52-58>

Поступила в редакцию 14.08.2025
Received 14.08.2025

И. П. Шейко, Д. Н. Ходосовский, В. А. Безмен, И. И. Рудаковская

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по животноводству,
Жодино, Республика Беларусь*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА ПРИ СОДЕРЖАНИИ СВИНОМАТОК
МЯСНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ**

Аннотация. В настоящее время свиноводство Республики Беларусь отличается резким ростом генетического потенциала продуктивности, что привело к необходимости в повышении комфортности условий содержания животных. В связи с этим изучалась возможность повышения воздухообмена в помещениях для содержания подсосных свиноматок мясного направления продуктивности. Исследования проводились в холодный, переходный и теплый периоды года. Уровень воздухообмена в опытной группе увеличили в холодный период до 110 м³/ч на голову, в переходный – до 150 м³/ч на голову и в теплый – до 200 м³/ч на голову. Это привело к снижению температуры воздуха в помещении на 0,1–0,4 °C, относительной влажности – на 3,5–4,1 п. п., содержания углекислого газа – на 0,01–0,02 п. п., аммиака – на 0,2–0,7 мг/м³, увеличению содержания кислорода на 0,2–0,5 п. п., повышению скорости движения воздуха на 0,04–0,10 м/с. Улучшение состояния микроклимата способствовало росту среднесуточных приростов живой массы поросят за подсосный период на 3,3–4,0 %, увеличению массы гнезда при отъеме на 2,8–6,5 %.

Ключевые слова: подсосные свиноматки, микроклимат, воздухообмен, продуктивность, среднесуточный прирост

Для цитирования: Оптимизация воздухообмена при содержании свиноматок мясного направления продуктивности / И. П. Шейко, Д. Н. Ходосовский, В. А. Безмен, И. И. Рудаковская // Весці Нацыянальнай акадэміі науку Беларусь. Серыя аграрных наукаў. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 52–58. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-52-58>

Ivan P. Sheiko, Dmitry N. Khodosovsky, Vladimir A. Bezmen, Inessa I. Rudakovskaya

*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding,
Zhodino, Republic of Belarus*

OPTIMIZATION OF AIR EXCHANGE WHEN KEEPING MEAT-TYPE SOWS

Abstract. Currently, pig farming in the Republic of Belarus is characterized by a sharp increase in genetic productivity potential, which has led to the need to improve the comfort of animal housing conditions. In this regard, the possibility of increasing air exchange in premises for keeping suckling meat-type sows was studied. The research was conducted during the cold, transitional, and warm periods of the year. The level of air exchange in the experimental group was increased during the cold period to 110 m³/h per head, during the transitional period to 150 m³/h per head, and during the warm period to 200 m³/h per head. This led to a decrease in indoor air temperature by 0.1–0.4 °C, relative humidity by 3.5–4.1 p. p., carbon dioxide content by 0.01–0.02 p. p., ammonia content by 0.2–0.7 mg/m³, an increase in oxygen content by 0.2–0.5 p. p., and an increase in air velocity by 0.04–0.1 m/s. The improvement in the microclimate contributed to an increase in the average daily weight gain of piglets during the suckling period by 3.3–4.0 % and an increase in litter weight at weaning by 2.8–6.5 %.

Keywords: suckling sows, microclimate, air exchange, productivity, average daily weight gain

For citation: Sheiko I. P., Khodosovsky D. N., Bezmen V. A., Rudakovskaya I. I. Optimization of air exchange when keeping meat-type sows. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 52–58 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-52-58>

Введение. Современное свиноводство основано на использовании свиней мясного направления продуктивности. Основное отличие мясных животных от использовавшихся ранее мясосальных состоит в снижении количества сала и увеличении содержания мышечной ткани в тушке. Это оказывает существенное влияние на обменные процессы, иммунный статус и продуктив-

ность. Скороспелые мясные свиньи с высоким выходом постного мяса в тушах характеризуются более высокими требованиями к качеству кормления и комфортности среды обитания, а также меньшими адаптационными возможностями к стрессогенным ситуациям. В отрасли свиноводства Республики Беларусь возникла ситуация, когда, с одной стороны, резко растет генетический потенциал продуктивности, с другой – необходимо повышать комфортность условий содержания животных [1].

Формирование микроклимата обусловливается как биологическими процессами потребления животными кислорода воздуха и выделения ими продуктов метаболизма в виде тепла, влаги и вредных газов, так и метеорологическими условиями данной местности, объемно-планировочными решениями, уровнем воздухообмена, теплотехническими свойствами ограждающих конструкций и т. д. [2–6]. Нарушение правил эксплуатации зданий, в частности низкий воздухообмен, несвоевременная чистка и уборка помещений, приводят к увеличению загазованности помещений, а также повышению влажности и бактериальной обсемененности воздуха [7]. Содержание различных половозрастных групп свиней в холодных, сырых помещениях приводит к снижению продуктивности на 15–35 %, заболеваемость и отход молодняка увеличивается в 2–3 раза [8, 9]. Многочисленными наблюдениями практиков и специальными экспериментами учёных установлено, что при температуре в помещении 30 °С и выше количество эмбрионов на 25-й день супоросности уменьшается из-за их рассасывания на 17–25 % [2, 10].

В настоящее время в помещениях для содержания свиней предусмотрен воздухообмен, обеспечивающий подачу наружного воздуха в количестве от 30 м³/ч на 1 ц живой массы свиней в холодный период года до 60 м³/ч – в теплый период (КНТП-1-2020)¹. Однако данные нормы разрабатывались в 70-х годах прошлого столетия и относились к животным мясосального типа. Многие авторы считают, что параметры микроклимата в связи с резким ростом продуктивности свиней требуют уточнения, в том числе нуждается в корректировке их потребность в свежем воздухе [11–16].

Цель исследования – оптимизация воздухообмена в свинарниках при содержании свиноматок мясного направления продуктивности.

Материалы и методика исследований. Подопытное поголовье – подсосные свиноматки, объектом исследований также были секции для опоросов с соответствующим технологическим оборудованием. На свинокомплексе мощностью 24 тыс. гол. годового откорма были сформированы по принципу аналогов группы животных (контрольная и опытная). Для опыта подобраны свиноматки средней живой массой 250 кг. Вместимость секции составляет 24 станка для опоросов. В контрольной секции воздухообмен осуществляется по нормам, указанным в КНТП-1-2020, из расчета в холодный период года 75 м³/ч на голову, в переходный – 110 м³/ч на голову и в теплый – 150 м³/ч на голову. В опытной секции соответственно 110, 150 и 200 м³/ч на голову.

Изменение воздухообмена и его кратности осуществляется путем изменения режима работы вентиляторов.

За 5–7 дней до опороса и в течение 28 дней подсоса свиноматок содержат в свинарнике для опоросов (здание размером 120 × 18,8 м), где оборудовано 6 секций вместимостью 24 станка каждая. Параметры секции: длина – 15,0 м, ширина – 10,0 м, высота – 5,2 м, объем – 790 м³. Содержание свиноматок на подсосе – в индивидуальных станках размером 2 400 × 1 800 × 500 мм. Станок имеет подвижные регулируемые дуги, предотвращающие задавливание поросят, а также опрокидывающуюся кормушку. Пол в станке для свиноматок – чугунный, для поросят – решетчатый пластиковый. Имеется водяной коврик обогрева размером 1 200 × 400 мм. Для дополнительного обогрева новорожденных поросят используются инфракрасные лампы.

Приток воздуха осуществляется через стенные клапаны (с защитной сеткой от птиц и пластинаами направления потока), расположенные на стенах здания; вытяжка осуществляется через вытяжные шахты. Производительность каждого вентилятора плавно регулируется от 0 до 100 %. Количество и скорость движения воздуха контролируется компьютером микроклимата; подо-

¹ Комплексные нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения существующих животноводческих объектов по производству молока, говядины и свинины: КНТП-1-2020 / НАН Беларусь, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь; разраб.: И. В. Брыло [и др.]. Мин.: Науч.-практ. центр НАН Беларусь по животноводству, 2021. 120 с.

грев приточного воздуха осуществляется с помощью оребренных трубопроводов (теплоноситель – вода), расположенных под приточными клапанами.

При проведении исследований учитывали следующие показатели:

- температуру (°C) и относительную влажность (в %) внутреннего воздуха, измеренные прибором комбинированным «ТКА-ПКМ» и логгерами «Testo 174»;
- скорость движения воздуха (м/с) – комбинированным прибором «Testo-405»;
- концентрацию аммиака (мг/м³), углекислого газа (в %) и кислорода – газоанализатором ФП-34 (НП ОДО «Фармэк», Беларусь).

Параметры микроклимата определялись по сезонам года, в течение двух смежных суток на двух уровнях от пола: 0,3 и 1,5 м.

В опытах были исследованы следующие зоотехнические показатели: количество опоросившихся свиноматок (гол.); живая масса (кг) и количество поросят в гнезде при рождении (гол.); количество поросят к отъему, полученных в расчете на одну опоросившуюся свиноматку (гол.); абсолютный прирост живой массы молодняка за подсосный период (кг); сохранность подсосных поросят (%).

Полученные данные обработаны биометрически на компьютере с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований параметров микроклимата в секциях для содержания подсосных маток в переходный период представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры микроклимата в секциях для содержания подсосных свиноматок в переходный период

Table 1. Microclimate parameters in sections for keeping lactating sows during the transition period

Высота определения, м	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Содержание кислорода, %	Содержание углекислого газа, %	Скорость движения воздуха, м/с	Концентрация аммиака, мг/м ³
<i>Контрольная группа</i>						
0,3	20,3 ± 0,32	64,7 ± 1,32	19,3 ± 0,09	0,11 ± 0,04	0,15 ± 0,03	6,1 ± 0,02
1,5	21,1 ± 0,28	66,7 ± 2,17	19,3 ± 0,06	0,15 ± 0,05	0,19 ± 0,04	6,6 ± 0,05
<i>Опытная группа</i>						
0,3	20,2 ± 0,23	61,2 ± 1,78	19,5 ± 0,07	0,10 ± 0,03	0,21 ± 0,06	5,8 ± 0,07
1,5	20,7 ± 0,24	63,2 ± 1,98	19,6 ± 0,08	0,13 ± 0,04	0,23 ± 0,05	5,9 ± 0,08

В контрольной секции температурные показатели на высоте 0,3 м были выше, чем в опытной, на 0,1 °C, а на высоте 1,5 м – на 0,4 °C.

Подсосные матки контрольной группы содержались при относительной влажности воздуха в секции 64,7–66,7 %. В опытной секции относительная влажность воздуха за период наблюдений была ниже, чем в контрольной, на 3,5 %. Содержание кислорода в воздухе как контрольной, так и опытной секции было довольно стабильным, а его концентрация колебалась от 19,3 до 19,6 %, содержание углекислого газа – от 0,1 до 0,15 %. В контрольной секции, где содержались подсосные матки с поросятами, скорость движения воздуха на уровне 0,3 м была 0,15 м/с, на уровне 1,5 м – 0,19 м/с. В опытной группе скорость движения воздуха была соответственно 0,21 и 0,23 м/с, или на 0,06 и 0,04 м/с больше. В воздухе контрольной секции в зависимости от уровня замеров концентрация аммиака составляла 6,1–6,6 мг/м³, в то время как в опытной секции она была ниже на 0,3–0,7 мг/м³. В переходный период года показатели микроклимата в обеих группах соответствовали зоогигиеническим нормам. Из-за увеличения воздухообмена в опытной группе до 150 м³/ч на голову в воздухе несколько понизились влажность и содержание аммиака и увеличилась скорость движения воздуха.

Количество поросят в помете (табл. 2) у свиноматок опытной группы было 12,5 гол., а в контрольной группе – на 0,3 поросенка меньше. Технологичных поросят в контрольной группе получено 11,8 гол., в опытной – 12,3 гол., или на 0,5 гол. больше. Показатели крупноплодности и масса гнезда при рождении составляли соответственно 1,12–1,11 кг и 13,7–13,9 кг, разница между группами была несущественной.

Таблица 2. Показатели продуктивности подопытных свиноматок при опоросе (в расчете на одно гнездо) в переходный период года, $M \pm m$

Table 2. Productivity indicators of experimental sows at farrowing (per litter) during the transition period of the year, $M \pm m$

Показатель	Группа животных	
	контрольная, $n = 24$	опытная, $n = 24$
Родилось поросят всего, гол.	12,2 \pm 0,44	12,5 \pm 0,47
в том числе технологичных, гол.	11,8 \pm 0,46	12,3 \pm 0,46
Крупноплодность, кг	1,12 \pm 0,01	1,11 \pm 0,01
Масса гнезда при рождении, кг	13,7 \pm 0,40	13,9 \pm 0,45
Средняя живая масса одного поросенка при отъеме, кг	7,3 \pm 0,10	7,2 \pm 0,14
Среднее количество поросят в гнезде при отъеме, гол.	11,1 \pm 0,27	11,4 \pm 0,30
Масса гнезда при отъеме, кг	82,0 \pm 2,11	84,3 \pm 1,69
Среднесуточный прирост, г	224 \pm 3,2	233 \pm 4,0

К отъему разница в количестве поросят составила 0,3 гол. на опорос, по массе гнезда – 2,3 кг в пользу поросят опытной группы. Их среднесуточный прирост вырос на 9 г (4,0 %) по сравнению с контролем.

В теплый период года количество подаваемого воздуха увеличили со 150 м³/гол. в час до 200 м³/гол. в час, что положительно отразилось на основных показателях микроклимата (табл. 3).

Таблица 3. Параметры микроклимата в секциях для содержания подсосных свиноматок в теплый период года

Table 3. Microclimate parameters in sections for keeping lactating sows in the warm season

Высота определения, м	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Содержание кислорода, %	Содержание углекислого газа, %	Скорость движения воздуха, м/с	Концентрация аммиака, мг/м ³
<i>Контрольная группа</i>						
0,3	24,0 \pm 0,32	66,7 \pm 3,32	20,0 \pm 0,09	0,15 \pm 0,04	0,38 \pm 0,03	3,8 \pm 0,02
1,5	24,9 \pm 0,38	64,3 \pm 2,17	20,1 \pm 0,06	0,17 \pm 0,05	0,40 \pm 0,04	4,1 \pm 0,05
<i>Опытная группа</i>						
0,3	23,9 \pm 0,35	62,9 \pm 1,98	20,5 \pm 0,07	0,14 \pm 0,03	0,45 \pm 0,06	3,4 \pm 0,07
1,5	24,6 \pm 0,40	60,2 \pm 2,98	20,6 \pm 0,08	0,15 \pm 0,04	0,50 \pm 0,05	3,9 \pm 0,08

В секции, где содержались животные опытной группы, температура воздуха снизилась на 0,1–0,7 °C, относительная влажность – на 3,8–4,1 п. п., содержание углекислого газа – на 0,1–0,2 п. п. содержание кислорода увеличилось на 0,5 п. п., скорость движения воздуха возросла на 0,07–0,10 м/с.

Результаты опоросов (табл. 4) показали превосходство животных опытной группы по продуктивности в теплый период года.

В расчете на опорос было получено на 0,4 поросенка больше, средняя живая масса одного поросенка при отъеме выросла на 0,3 кг, за счет этого достоверно возросла масса гнезда при отъеме на 4,2 кг ($p < 0,05$), среднесуточный прирост увеличился на 4,0 %.

В холодный период года в опытной секции количество подаваемого свежего воздуха по сравнению с контролем увеличили на 35 м³/гол. в час. Результаты исследования микроклимата в холодный период года представлены в табл. 5.

Температура воздуха и относительная влажность колебались в пределах нормы. В опытной группе температура на уровне 0,3 м от пола была ниже на 0,2 °C, на уровне 1,5 м от пола – на 0,3 °C. Относительная влажность воздуха в контроле была выше на 3,5 п. п., чем при увеличенном до 110 м³/гол. в час воздухообмене. Содержание кислорода увеличилось в помещении, где содержалась опытная группа, на 0,5 п. п., углекислого газа – снизилось на 0,2 п. п., аммиака – на 0,2–0,5 мг/м³. Скорость движения воздуха при этом возросла на 0,04–0,06 м/с. Общее состояние микроклимата в холодный период года в обеих группах было удовлетворительным.

Таблица 4. Показатели продуктивности подопытных свиноматок при опоросе
(в расчете на одно гнездо) в теплый период года, $M \pm m$ Table 4. Productivity indicators of experimental sows at farrowing (per litter) in the warm season, $M \pm m$

Показатель	Группа животных	
	контрольная, $n = 24$	опытная, $n = 24$
Родилось поросят всего, гол.	$12,1 \pm 0,24$	$12,5 \pm 0,53$
в том числе технологичных, гол.	$11,9 \pm 0,32$	$12,3 \pm 0,49$
Крупноплодность, кг	$1,15 \pm 0,02$	$1,2 \pm 0,02$
Масса гнезда при рождении, кг	$13,9 \pm 0,49$	$15,0 \pm 0,4$
Средняя живая масса одного поросенка при отъеме, кг	$7,0 \pm 0,10$	$7,3 \pm 0,11$
Среднее количество поросят в гнезде при отъеме, гол.	$11,5 \pm 0,3$	$11,6 \pm 0,28$
Масса гнезда при отъеме, кг	$80,5 \pm 2,63$	$84,7 \pm 2,84^*$
Среднесуточный прирост, г	$202 \pm 3,4$	$210 \pm 2,5$

* $p < 0,05$.

Таблица 5. Параметры микроклимата в секциях для содержания подсосных свиноматок
в холодный период года

Table 5. Microclimate parameters in sections for keeping lactating sows during the cold season

Высота определения, м	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Содержание кислорода, %	Содержание углекислого газа, %	Скорость движения воздуха, м/с	Концентрация аммиака, мг/м ³
<i>Контрольная группа</i>						
0,3	$20,4 \pm 0,19$	$66,7 \pm 2,77$	$19,0 \pm 0,17$	$0,17 \pm 0,12$	$0,13 \pm 0,01$	$6,0 \pm 0,4$
1,5	$20,6 \pm 0,21$	$68,7 \pm 2,84$	$19,1 \pm 0,20$	$0,16 \pm 0,09$	$0,17 \pm 0,03$	$6,4 \pm 0,3$
<i>Опытная группа</i>						
0,3	$20,2 \pm 0,23$	$63,2 \pm 1,78$	$19,5 \pm 0,07$	$0,15 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,06$	$5,8 \pm 0,07$
1,5	$20,3 \pm 0,24$	$65,2 \pm 1,98$	$19,6 \pm 0,08$	$0,14 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,05$	$5,9 \pm 0,08$

В табл. 6 приведены данные о продуктивности маточного поголовья при подсосе в холодный период года. Количество поросят при рождении в опытной группе было больше на 0,4 гол. (3,3 %). Масса гнезда при рождении повысилась на 0,7 кг (4,8 %), средняя живая масса одного поросенка при отъеме – на 0,2 кг (2,9 %). К отъему количество поросят в гнезде было выше в опытной группе на 0,4 гол. Масса гнезда при отъеме увеличилась по сравнению с контролем на 6,5 %, среднесуточный прирост – на 3,3 %.

Сравнение полученных результатов в опытах на подсосных матках показывает, что увеличение объема поступающего свежего воздуха приводит к небольшому снижению относительной влажности, содержания углекислого газа и аммиака. При этом увеличивается содержание в воздухе кислорода и растет скорость движения воздуха в помещении.

Таблица 6. Показатели продуктивности подопытных свиноматок при опоросе
(в расчете на одно гнездо) в холодный период года, $M \pm m$ Table 6. Productivity indicators of experimental sows at farrowing (per litter)
in the cold season, $M \pm m$

Показатель	Группа животных	
	контрольная, $n = 24$	опытная, $n = 24$
Родилось поросят всего, гол.	$12,1 \pm 0,24$	$12,5 \pm 0,53$
в том числе технологичных, гол.	$11,8 \pm 0,32$	$12,2 \pm 0,49$
Крупноплодность, кг	$1,23 \pm 0,02$	$1,25 \pm 0,02$
Масса гнезда при рождении, кг	$14,5 \pm 0,49$	$15,2 \pm 0,4$
Средняя живая масса одного поросенка при отъеме, кг	$7,0 \pm 0,10$	$7,2 \pm 0,11$
Среднее количество поросят в гнезде при отъеме, гол.	$11,5 \pm 0,3$	$11,9 \pm 0,28$
Масса гнезда при отъеме, кг	$80,5 \pm 2,63$	$85,7 \pm 2,84$
Среднесуточный прирост, г	$213 \pm 3,4$	$220 \pm 2,5$

Заключение. На показатели микроклимата в помещении для подсосных свиноматок положительное влияние оказывает увеличение объема поступающего воздуха по сравнению с нормами воздухообмена, указанными в КНТП-1-2020. В холодный период года количество свежего воздуха целесообразно повысить до 110 м³/ч на голову, в переходный – до 150 м³/ч на голову, в теплый период – до 200 м³/ч на голову. Это приводит к снижению температуры воздуха в помещении на 0,1–0,4 °C, относительной влажности на 3,5–4,1 п. п., содержания углекислого газа – на 0,01–0,02 п. п., аммиака – на 0,2–0,7 мг/м³. Одновременно с этим в воздухе увеличивается содержание кислорода на 0,2–0,5 п. п., повышается скорость движения воздуха на 0,04–0,10 м/с. Улучшение состояния микроклимата способствует увеличению среднесуточных приростов живой массы поросят за подсосный период на 3,3–4,0 %, увеличению массы гнезда при отъеме на 2,8–6,5 %.

Список использованных источников

- Ходосовский, Д. Н. Система приёмов адаптации промышленной технологии к специфике производства мясной свинины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.02.10 / Ходосовский Дмитрий Николаевич; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Жодино, 2021. – 44 с.
- Усманова, Е. М. Влияние условий содержания на клинико-физиологическое состояние и продуктивность свиноматок породы дюрок / Е. М. Усманова // Наука нового века – знания молодых: тез. докл. науч. конф. аспирантов и соискателей, Киров, 1–31 янв. 2001 г. / Вят. гос. с.-х. акад.; отв. ред. Г. П. Дудин. – Киров, 2001. – С. 76–78.
- Найденко, В. К. Совершенствование технологий на свинофермах и свинокомплексах / В. К. Найденко // Перспективное свиноводство: теория и практика. – 2011. – № 2. – Ст. 6.
- Ходосовский, Д. Н. Микроклимат в зданиях для ремонтных свинок и свиноматок мясного направления продуктивности / Д. Н. Ходосовский // Зоотехническая наука Беларусь: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Жодино, 2017. – Т. 52, ч. 2: Технология кормов и кормления, продуктивность. Технология производства, зоогигиена, содержание. – С. 223–228.
- Архипцев, А. В. Автоматизированная система микроклимата с утилизацией теплоты вытяжного воздуха / А. В. Архипцев, И. Ю. Игнаткин // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 4 (59). – С. 5–14.
- Колесников, М. С. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах / М. С. Колесников, Д. А. Евраев // Молодежь и научно-технический прогресс: сб. докл. XIV междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Губкин, 8–9 апр. 2021 г.: в 2 т. / Белгор. гос. технол. ун-т [и др.]. – Губкин, 2021. – Т. 1. – С. 480–484.
- Responses of pigs of different genotypes to a variation in the dietary indispensable amino acid content in terms of their growth and carcass and meat quality traits / S. Schiavon, M. Dalla Bona, G. Carcò [et al.] // Animals. – 2019. – Vol. 9, № 8. – Art. 508. <https://doi.org/10.3390/ani9080508>
- McArthur, A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model / A. J. McArthur // Journal of Theoretical Biology. – 1987. – Vol. 126, № 2. – P. 203–238. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80229-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80229-1)
- Григорьев, В. С. Влияние микроклимата на физиологическое развитие свиней в раннем постнатальном онтогенезе / В. С. Григорьев // Свиноферма. – 2007. – № 11. – С. 44–46.
- Голосов, И. М. Гигиена содержания свиней на фермах и комплексах / И. М. Голосов, А. Ф. Кузнецов, Р. С. Гольдинштейн. – Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1982. – 216 с.
- A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms / Z. Hu, Q. Yang, Y. Tao [et al.] // Sustainable Cities and Society. – 2023. – Vol. 89. – Art. 104372. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104372>
- Vliv mikroklimatu inseminační haly na zabřezávání prasnic po první inseminaci / Z. Knotek, S. Navrátil, M. Manášková, P. Forejtek // Veterinární Medicína. – 1985. – R. 30, № 4. – P. 201–210.
- Смолкин, Р. Оптимальные решения при реконструкции и строительстве свинокомплексов / Р. Смолкин, А. Хайер // Промышленное и племенное свиноводство. – 2007. – № 3. – С. 39–40.
- Komlatskiy, V. Precision technologies in pig farming / V. Komlatskiy, R. Smolkin // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 371. – Art. 03057. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337103057>
- Дерябин, А. Н. Проблемы строительства свинокомплексов / А. Н. Дерябин, А. А. Завилейский // Промышленное и племенное свиноводство. – 2009. – № 6. – С. 20–24.
- Oh, B.-W. Ventilation operating standard for improving internal environment in pig house grafting working conditions using CFD / B.-W. Oh, H.-J. Seo, Il-H. Seo // AgriEngineering. – 2023. – Vol. 5, № 3. – P. 1378–1394. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5030086>

References

- Khodosovskii D. N. *System of techniques for adapting industrial technology to the specifics of meat pork production*. Zhodino, 2021. 44 p. (in Russian).
- Usmanova E. M. The influence of housing conditions on the clinical and physiological condition and productivity of Duroc sows. *Nauke novogo veka – znaniya molodykh: tezisy dokladov nauchnoi konferentsii aspirantov i soiskatelei*, Kirov, 1–31 yanvarya 2001 g. [The science of the new century – the knowledge of the young: proceedings of a scientific conference of postgraduate students and applicants, Kirov, January 1–31, 2001]. Kirov, 2001, pp. 76–78 (in Russian).

3. Naidenko V. K. Enhancement of technologies in pig farming and swine production complexes. *Perspektivnoe svinovodstvo: teoriya i praktika* [Advanced pig Farming: Theory and Practice], 2011, no. 2, art. 6. (in Russian).
4. Khodosovskiy D. N. Microclimate in buildings for replacement pigs and sows of meat productivity. *Zootehnicheskaya nauka Belarusi: sbornik nauchnykh trudov* [Zootechnical science of Belarus: collection of scientific papers]. Zhodino, 2017, vol. 52, pt. 2, pp. 223–228 (in Russian).
5. Arkhptsev A. V., Ignatkin I. Yu. Automated system microclimate with heat recovery exhaust air. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*, 2016, no. 4 (59), pp. 5–14 (in Russian).
6. Kolesnikov M. S., Evraev D. Analysis of methods for organizing supply and exhaust ventilation in swine complexes. *Molodezh' i nauchno-tehnicheskii progress: sbornik dokladov XIV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Gubkin, 8–9 aprelya 2021 g.* [Youth and scientific-technical progress: proceedings of the 14th international scientific and practical conference of students, postgraduates, and young scientists, Gubkin, April 08–09, 2021]. Gubkin, 2021, vol. 1, pp. 480–484 (in Russian).
7. Schiavon S., Dalla Bona M., Carcò G., Sturaro E., Gallo L. Responses of pigs of different genotypes to a variation in the dietary indispensable amino acid content in terms of their growth and carcass and meat quality traits. *Animals*, 2019, vol. 9, no. 8, art. 508. <https://doi.org/10.3390/ani9080508>
8. McArthur A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology*, 1987, vol. 126, no. 2, pp. 203–238. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80229-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80229-1)
9. Grigor'ev V. S. The influence of microclimate on the physiological development of pigs in early postnatal ontogenesis. *Svinofarma* [Pig Farm], 2007, no. 11, pp. 44–46 (in Russian).
10. Golosov I. M., Kuznetsov A. F., Gol'dinshtein R. S. *Hygiene of pig housing at farms and complexes*. Leningrad, Kolos Publ., 1982. 216 p. (in Russian).
11. Hu Z., Yang G., Tao Y., Shi L., Tu J., Wang Y. A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms. *Sustainable Cities and Society*, 2023, vol. 89, art. 104372. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104372>
12. Knotek Z., Navrátil S., Manásková M., Forejtek P. Vliv mikroklimatu inseminační haly na zabřezávání prasnic po první inseminaci [The effect of the microclimate in the insemination facility on conception in sows after the first insemination]. *Veterinární Medicína*, 1985, vol. 30, no. 4, pp. 201–210 (in Czech).
13. Smolkin R., Hayer A. Optimal solutions for the reconstruction and construction of pig farms. *Promyshlennoe i plemennoe svinovodstvo = Industrial and Pure-bred Pig-breeding*, 2007, no. 3, pp. 39–40 (in Russian).
14. Komlatskiy V., Smolkin R. Precision technologies in pig farming. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 371, art. 03057. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337103057>
15. Deryabin A. N., Zavileiskii A. A. Problems of construction of pig complexes. *Promyshlennoe i plemennoe svinovodstvo = Industrial & Pure-bred Pig-breeding*, 2009, no. 6, pp. 20–24 (in Russian).
16. Oh B.-W., Seo H.-J., Seo Il-H. Ventilation operating standard for improving internal environment in pig house grafting working conditions using CFD. *AgriEngineering*, 2023, vol. 5, no. 3, pp. 1378–1394. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5030086>

Информация об авторах

Шейко Иван Павлович – академик Национальной академии наук Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, первый заместитель генерального директора по научной работе, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222163, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000 0002 4684 9830>. E-mail: info@belniig.by

Ходосовский Дмитрий Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией технологии производства свинины и зоогигиены, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222163, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: hod_1963@list.ru

Безмен Владимир Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии производства свинины и зоогигиены, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222163, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: belniig@tut.by

Рудаковская Инесса Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии производства свинины и зоогигиены, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222163, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: belniig@tut.by

Information about the authors

Ivan P. Sheiko – Academy Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sc. (Agriculture), Professor, First Deputy Director General for Research, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding (11, Frunze St., 222163, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-4684-9830>. E-mail: info@belniig.by

Dmitry N. Khodosovsky – Dr. Sc., Associate Professor, Head of Laboratory for Pork Production Technology and Zootransport, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding (11, Frunze St., 222163, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: hod_1963@list.ru

Vladimir A. Bezmen – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher of Laboratory for Pork Production Technology and Zootransport, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding (11, Frunze St., 222163, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: belniig@tut.by

Inessa I. Rudakovskaya – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher of Laboratory for Pork Production Technology and Zootransport, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding (11, Frunze St., 222163, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: belniig@tut.by

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 636.22/.28.082.233

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-59-68>

Поступила в редакцию 23.06.2025

Received 23.06.2025

М. О. Селимян¹, С. В. Зырянова², Н. И. Абрамова¹, М. В. Абрамова³¹*Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Российская Федерация*²*Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса, пос. Михайловский, Российская Федерация*³*Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Российская Федерация***ОЦЕНКА ЛИНИЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМ ПРИЗНАКАМ**

Аннотация. Ярославская порода крупного рогатого скота отличается высоким содержанием жира и белка в молоке, устойчивостью к болезням и хорошей адаптацией к условиям средней и северной зон Российской Федерации. Правительством поставлена задача по разработке программ совершенствования пород молочного скота с целью их сохранения и повышения конкурентоспособности. Выполнена оценка продуктивных признаков и воспроизводительных качеств коров ярославской породы разных линий, разводимых в Ярославской и Вологодской областях. В ходе исследований выявлено, что ярославская популяция наиболее разнообразна по количеству линий. Коровы этой популяции превосходят коров ярославской породы из Вологодской области по удою за 100 дней лактации и за 305 дней последней законченной лактации на 515,6 и 1 804,2 кг соответственно. Коровы, выращиваемые в Вологодской области, являются более жирномолочными, превосходство по массовой доле жира над ярославской популяцией по всем линиям от 0,35 до 0,58 %. Коровы ярославской популяции линии Вольный 470 ЯЯ-4370 имели наиболее ранний срок возраста первого осеменения, первого плодотворного осеменения и первого отела – 16,2 мес., 17,0 мес. и 26,1 мес., что ниже, чем у вологодской популяции, на 5,8; 5,0 и 3,0 % соответственно. Наибольшая живая масса при рождении и последней законченной лактации по всем линиям, кроме линии Чародей 62 ЯЯ-1544, имеют животные ярославской популяции. В Вологодской области коровы имеют наибольший срок хозяйственного использования, который составляет от 2,4 до 6,5 лактации. Исследования позволяют улучшить генетический потенциал стада ярославской породы за счет целенаправленного разведения по линиям и сохранения генетического разнообразия. Полученные результаты могут использоваться для разработки программ селекции, что будет способствовать дальнейшей работе с этой ценной породой крупного рогатого скота.

Ключевые слова: популяция, ярославская порода, генеалогическая линия, молочная продуктивность, воспроизводительная способность, живая масса, хозяйственное использование

Для цитирования: Оценка линий крупного рогатого скота ярославской породы по хозяйственно полезным признакам / М. О. Селимян, С. В. Зырянова, Н. И. Абрамова, М. В. Абрамова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 59–68. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-59-68>

Maksim O. Selimyan¹, Svetlana V. Zyryanova², Natalya I. Abramova¹, Marina V. Abramova³¹*Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation*²*Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Mikhailovsky, Russian Federation*³*Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russian Federation***EVALUATION OF YAROSLAVL CATTLE LINES BASED ON ECONOMICALLY USEFUL CHARACTERISTICS**

Abstract. The Yaroslavl cattle breed is known for high fat and protein content in milk, resistance to infectious diseases, adaptability to feeding and maintenance conditions in the central and northern zones of the European part of the Russian Federation. The Government has set a task to develop programs to improve dairy cattle breeds for their preservations and increasing competitiveness. Therefore, the goal was set to evaluate the productive characteristics and reproductive qualities of Yaroslavl cows of different lines bred in the Yaroslavl and Vologda regions. The research revealed that the Yaroslavl population is the most diverse in terms of the number of lineages. Cows of the Yaroslavl population outperform cows of the Vologda population in milk yield for 100 days of lactation and for 305 days of lactation for the last completed lactation by 515.6 and 1 804.2 kg, respectively. The cows of the Vologda region are the most dairy-rich, with a superiority in fat percentage over the Yaroslavl population in all lines from 0.35 to 0.58 %. Cows of the Yaroslavl population of the Volny 470 YAYA-4370 line had the earliest age of the first insemination, the first fruitful insemination and the first calving – 16.2 months, 17 months and 26.1 months, which is lower than that of the Vologda population by 5.8; 5.0 and 3.0 %, respectively, which is statistically significant. Animals of the Yaroslavl population have the highest live weight at birth and the last completed lactation along

all lines except for the Sorcerer's line 62 YAYA-1544. Cows of the Vologda region have the longest period of economic use, which ranges from 2.4 to 6.5 lactation. The research allows to improve genetic potential of the Yaroslavl cattle breed through the purpose breeding according to lines and through conservation of genetic diversity. The receiver results can be used to develop selection programs, what will contribute to further work with his valuable breed.

Keywords: population, Yaroslavl breed, genealogical line, milk productivity, reproductive capacity, live weight, economic use

For citation: Selimyan M. O., Zyryanova S. V., Abramova N. I., Abramova M. V. Evaluation of Yaroslavl cattle lines based on economically useful characteristics. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 59–68 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-59-68>

Введение. Ярославская порода крупного рогатого скота – одна из ценнейших отечественных пород молочного направления продуктивности. К характерным особенностям породы можно отнести высокое содержание жира и белка в молоке, резистентность к инфекционным заболеваниям, приспособленность к условиям кормления и содержания в средней и северной зонах европейской части Российской Федерации.

Ярославский скот является отродьем великорусской породы крупного рогатого скота, так же как и домшинская порода. Различаются они только по месту обитания: домшинский скот разводился в Вологодском уезде, ярославский – в Ярославской и соседних губерниях. Отродья одинаковы по масти: черные белоголовые животные с белыми пятнами на брюхе, белыми «чулками», белыми кончиками хвоста и черными очками. «Домширки» отличались большей массивностью, что объяснялось лучшими кормовыми условиями [1, 2].

Как отдельная порода ярославский скот был сформирован в XIX в., но первая племенная книга была создана только в 1924 г. После революции племенную работу осуществляли крупные контрольные товарищества и крестьянские племенные рассадники. В 1930-х гг. проводилось скрещивание с быками остфризской породы, что привело к снижению жирности молока. В 1980-х гг. для повышения молочной продуктивности и улучшения экстерьера проводилось воспроизводительное скрещивание с быками голштинской породы, что привело к появлению высокопродуктивного михайловского типа ярославского скота, созданного на базе ОПХ «Михайловское», расположенного в Ярославской области. Новый тип был апробирован, запатентован и включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к широкому производственному использованию. В племенных и товарных хозяйствах велось бесконтрольное поглотительное скрещивание этих пород, что привело к большому массиву помесных животных с высокой кровностью по голштинской породе. В связи с этим численность чистопородного ярославского скота с его ценностями резко сократилась [1, 3].

В настоящее время на территории Вологодской области ярославский скот разводится в одном племенном репродукторе ЗАО «Шексна» Шекснинского района. Всего в племрепродукторе 2 317 гол. крупного рогатого скота ярославской породы, из которых 1 600 коров. Средняя живая масса коров по стаду составила 535 кг с возрастом в отелях – 2,9. За 2023 г. реализовано 160 гол. племенных животных. Молочная продуктивность за 305 дней последней законченной лактации в среднем по стаду составила 6 113 кг с массовой долей жира (МДЖ) 4,24 % и массовой долей белка (МДБ) 3,30 %.

В Ярославской области разведением крупного рогатого скота ярославской породы занимается 4 племенных завода и 12 племенных репродукторов. Общее количество племенных животных составляет 11 213 гол., из них 7 186 коров. Средняя живая масса коров – 549 кг, возраст в отелях – 2,49, удой по итогам последней законченной лактации составил 7 306 кг с массовой долей жира 4,04 % и массовой долей белка 3,35 %. За 2023 г. всего реализовано 444 гол. племенных животных¹.

Ярославский скот, разводимый в Вологодской и Ярославской областях, имеет свои индивидуальные особенности, которые служат источником генетического разнообразия и инструментом для дальнейшего совершенствования породы. Главной задачей для ученых и практиков является сохранение генофонда ценного ярославского скота [4].

¹ Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023) / Всерос. науч.-исслед. ин-т плем. дела; под рук. О. Н. Лукониной, Г. Ф. Сафиной. М.: ФГБНУ ВНИИплем, 2024. 243 с.

В последние годы среди научного сообщества растет убежденность в необходимости тщательной оценки реального положения дел с отечественными породами, которые длительное время подвергались голштинизации. Правительством поставлена задача по разработке программ совершенствования отечественных пород молочного скота с целью их сохранения и повышения конкурентоспособности [5, 6].

При оценке современного состояния и численности локальных пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности установлено, что преимущественное разведение специализированного скота или нескольких внутрипородных линий снижает породное и генетическое разнообразие поголовья, а следовательно, может привести к полному исчезновению местных пород скота, характеризующихся уникальными ценными признаками, в том числе резистентностью ко многим заболеваниям [7, 8].

Наиболее распространенными линиями голштинского скота являются Вис Бэк Айдиал 1013415 и Рефлекшн Соверинг 198998. Более 97 % коров черно-пестрой породы отнесены к этим двум линиям [9]. При сравнении линий симментальского скота из пяти регионов Российской Федерации авторами установлено, что наибольший удельный вес приходится на животных немецко-австрийских линий – 41,3 %, второе по численности место занимают особи голштинских линий – 31,0 % и наименьшее количество животных представлено линиями российской селекции – 21,7 % [10].

Среди помесного ярославского скота ярославской популяции большинство животных также принадлежат к линиям Вис Бэк Айдиал 1013415 – 33,7 % и Рефлекшн Соверинг 198998 – 46 % [11].

Согласно исследованиям, проведенным на вологодской популяции ярославского скота, установлено, что доля чистокровных особей (без примеси голштинской крови) составляет 11,4 % от всей популяции [12].

Линия – это микропорода внутри породы, которая является одной из форм контроля, ведения и планирования генеалогической структуры пород сельскохозяйственных животных. Одна линия отличается от другой определенными особенностями, типом, следовательно, им свойственны некоторые различия по генотипу, что обеспечивает сохранение в породе достаточной изменчивости и пластичности [13–16].

Маточное поголовье ярославской породы крупного рогатого скота представлено генеалогической структурой, которая состоит из линий ярославской и голштинской пород скота. К ярославской породе относятся линии: Жилет 345 ЯЯ-4574, Март 56 ЯЯ-2456, Марс 11 ЯЯ-4319, Чародей 62 ЯЯ-1544, Добрый 593 ЯЯ-4627, Мурат 7 ЯЯ-4388, Вольный 470 ЯЯ-4370, Магнат ЯЯ-4466 (отсутствует маточное поголовье, семя быков-производителей находится в генофондовом банке и может быть использовано только для заказного спаривания). К голштинской породе относятся линии: Рефлекшн Соверинг 198998, Вис Бэк Айдиал 1013415, Монтвик Чифтейн 95679, Пабст Говернёр 882933 [11]. В Ярославской области сперму быков ярославской породы предлагает к использованию региональный информационно-селекционный центр АО «Ярославское» по племенной работе. На продажу выставлена сперма 60 быков-производителей, из них к линии Вольный 470 ЯЯ-4370 относится 20 % быков, к линиям Жилет 345 ЯЯ-4574 и Добрый 593 ЯЯ-4627 – по 13 %, к линиям Март 56 ЯЯ-2456 и Рефлекшн Соверинг 198998 – по 11,7 %, к линии Монтвик Чифтейн 95679 – 8,3 %, к линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 6,7 % и к линиям Мурат 7 ЯЯ-4388, Чародей 62 ЯЯ-1544 и Марс 11 ЯЯ-4319 – по 5 % [17].

В Вологодской области сперму чистопородных быков-производителей ярославской породы предоставляет к продаже АО «Племпредприятие «Череповецкое», на продажу выставлена сперма 4 быков, из которых по одному быку линий Март 56 ЯЯ-2456 и Добрый 593 ЯЯ-4627, два представителя линии Вольный 470 ЯЯ-4370. Три быка-производителя родились на племенном заводе АО «Племзавод Ярославка» (Ярославский район, Ярославская область), один бык – из племенного репродуктора ЗАО «Шексна (Шекснинский район, Вологодская область)» [18].

За последние 40 лет пропали представители линий ярославской породы: Невод 509 ЯЯ-3908, Клен ЯЯ-4569, Коршун ЯЯ-4043, Шустый ЯЯ-3425 и Чибис ЯЯ-1220 [19]. Из-за малой численности животных под угрозой исчезновения находится линия Марс 11 ЯЯ-4319.

Главной задачей в племенном животноводстве должно быть сохранение разнообразия линий и выявление в них более ценных животных, что будет способствовать повышению генетического потенциала стад аборигенных пород крупного рогатого скота.

Цель исследования – оценить продуктивные признаки и воспроизводительные качества коров ярославской породы разных линий, разводимых в Ярославской и Вологодской областях.

В задачи исследования входило: изучить генеалогическую структуру популяций ярославской породы, разводимых на территории Вологодской и Ярославской областей; оценить молочную продуктивность коров ярославской породы в разрезе генеалогических линий; изучить воспроизводительные качества коров ярославской породы в разрезе генеалогических линий.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены на поголовье крупного рогатого скота ярославской породы, разводимой в племенных хозяйствах Вологодской области (племенной репродуктор) и Ярославской (два племенных репродуктора и два племенных завода).

В хозяйствах для разведения чистопородного ярославского скота используется привязная технология содержания с доением в молокопровод.

Кормление животных производится по научно обоснованным нормам, которые учитывают физиологическое состояние животного, продуктивность и живую массу.

Изучались показатели молочной продуктивности (удой за 100 дней лактации, удой за 305 дней, МДЖ, МДБ), воспроизводительной способности (возраст первого отела, возраст первого осеменения и первого плодотворного осеменения, кратность осеменений) и живой массы (при рождении, при первом осеменении, при последней законченной лактации) по итогам последней законченной лактации. Материалом для исследования послужили данные из информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС. Молочный скот».

Общее количество исследованных чистопородных коров ярославской породы – 516 гол.

Методы исследования – зоотехнические и популяционно-генетические с биометрической обработкой данных, с использованием «Пакета анализа», встроенного в Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены линии, которые разводятся на территории Вологодской и Ярославской областей и количество животных, принадлежащих к этим линиям.

Данные, приведенные на рис. 1, показывают, что в ярославской популяции численность чистопородных коров, относящихся к ярославским линиям, больше, чем в вологодской популяции, и составляет 370 и 146 животных соответственно.

Наибольшее количество коров ярославской популяции относится к линиям Вольный 470 ЯЯ-4370 – 22 %, Март 56 ЯЯ-2456 – 20 % и Добрый 593 ЯЯ-4627 – 19,4 %. Самой малочисленной является линия Марс 11 ЯЯ-4319 – 1,2 % (данные этих животных не вошли в дальнейшую статистическую обработку из-за недостаточного поголовья). В вологодской популяции самыми

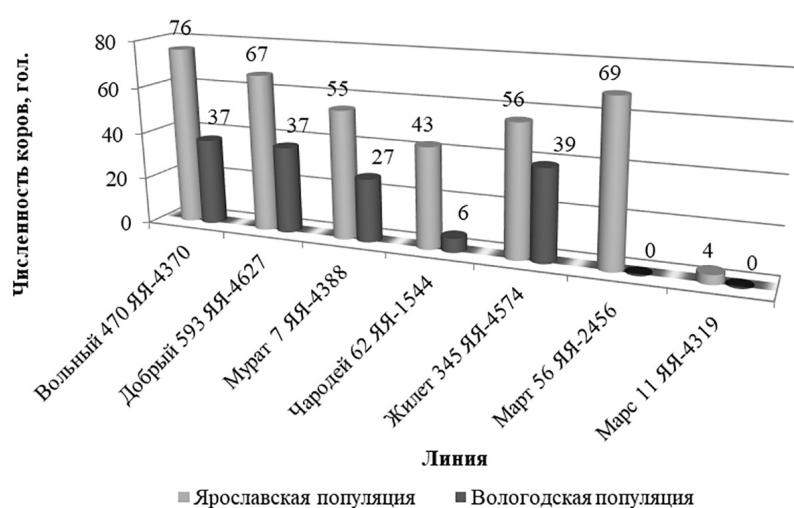


Рис. 1. Генеалогическая структура линий крупного рогатого скота ярославской породы, разводимых на территории Вологодской и Ярославской областей, и количество животных, принадлежащих к этим линиям

Fig. 1. Genealogical structure of Yaroslavl cattle lines bred in the Vologda and Yaroslavl regions and the number of animals belonging to these lines

распространенными линиями являются Жилет 345 ЯЯ-4574 – 26,7 %, Добрый 593 ЯЯ-4627 и Вольный 470 ЯЯ-4370 – по 25,3 % гол. Наименьшее количество маточного поголовья принадлежит линии Чародей 62 ЯЯ-1544 – 4,1 %. В вологодской популяции отсутствуют животные линий Март 56 ЯЯ-2456 и Марс 11 ЯЯ-4319.

В табл. 1 приведены результаты анализа молочной продуктивности коров по линиям и популяциям по итогам последней законченной лактации.

Таблица 1. Характеристика молочной продуктивности коров по линиям внутри популяций по итогам последней законченной лактации

Table 1. Characteristics of dairy productivity of cows by lines within populations based on the results of the last completed lactation

Линия	Популяция	Удой за 100 дней, кг	Удой за 305 дней, кг	МДЖ, %	МДБ, %
		M ± m	M ± m	M ± m	M ± m
Вольный 470 ЯЯ-4370	Ярославская	2 667 ± 62,5***	6 354 ± 149***	4,10 ± 0,04	3,43 ± 0,02***
	Вологодская	2 315 ± 52,2	5 173 ± 135,3	4,45 ± 0,06***	3,28 ± 0,02
Добрый 593 ЯЯ-4627	Ярославская	2 828 ± 77,0***	7 312 ± 180,2***	4,15 ± 0,05	3,43 ± 0,02***
	Вологодская	2 285 ± 54,7	5 326 ± 140,3	4,51 ± 0,06***	3,22 ± 0,01
Мурат 7 ЯЯ-4388	Ярославская	2 605 ± 71,8***	6 640 ± 187,7***	4,15 ± 0,05	3,41 ± 0,02***
	Вологодская	2 223 ± 64,8	5 186 ± 171,4	4,6 ± 0,10***	3,25 ± 0,02
Чародей 62 ЯЯ-1544	Ярославская	3 022 ± 69,1***	7 734 ± 2 06,3***	4,34 ± 0,05	3,39 ± 0,02
	Вологодская	2 104 ± 185,1	4 614 ± 461,1	4,81 ± 0,23	3,32 ± 0,04
Жилет 345 ЯЯ-4574	Ярославская	2 671 ± 98,9***	6 568 ± 193,3***	4,1 ± 0,08	3,43 ± 0,03***
	Вологодская	2 288 ± 49,2	5 004 ± 120,1	4,65 ± 0,07***	3,31 ± 0,01
Март 56 ЯЯ-2456	Ярославская	2 729 ± 81,0	6 640 ± 194	4,15 ± 0,05	3,41 ± 0,02
	Вологодская	–	–	–	–

При мечани: здесь и далее * – $p \geq 0,95$; ** – $p \geq 0,99$; *** – $p \geq 0,999$.

Note: here and further * – $p \geq 0,95$; ** – $p \geq 0,99$; *** – $p \geq 0,999$.

При анализе данных табл. 1 установлено, что ярославская популяция превосходит по удою за 100 дней и за 305 дней последней законченной лактации вологодскую по всем исследуемым линиям, что является статистически достоверным при $p \geq 0,999$. По ярославской популяции наивысший показатель удоя за 305 дней получен у маточного поголовья линии Чародей 62 ЯЯ-1544 (7 734 кг молока), минимальный – у животных, относящихся к линии Вольный 470 ЯЯ-4370 (6 354 кг). В вологодской популяции максимальный удой установлен у животных линии Добрый 593 ЯЯ-4627 (5 326 кг), самый низкий – в линии Чародей 62 ЯЯ-1544 – 4 614 кг.

По показателю массовой доли жира в молоке коров в линиях Вольный 470 ЯЯ-4370, Добрый 593 ЯЯ-4627, Мурат 7 ЯЯ-4388, Жилет 345 ЯЯ-4574 установлено статистически значимое ($p \geq 0,999$) превосходство вологодской популяции над ярославской. Наибольшей жирномолочностью в обеих популяциях отличаются животные линии Чародей 62 ЯЯ-1544, показатель МДЖ составил 4,34 и 4,81 % в ярославской и вологодской популяции соответственно. Наименьший показатель МДЖ принадлежит животным линии Вольный 470 ЯЯ-4370 (4,10 % – ярославская популяция; 4,45 % – вологодская популяция).

Результатами сравнительного анализа МДБ в молоке коров по линиям установлено статистически достоверное превосходство животных ярославской популяции над вологодской ($p \geq 0,999$), кроме линии Чародей 62 ЯЯ-1544. У коров ярославской популяции по линиям Вольный 470 ЯЯ-4370, Добрый 593 ЯЯ-4627 и Жилет 345 ЯЯ-4574 отмечен наивысший показатель массовой доли белка в молоке – 3,43 %. Разница между популяциями по этим линиям составляет 0,15; 0,21 и 0,12 % соответственно.

Характеристика воспроизводительных признаков (возраст первого отела, первого осеменения, первого плодотворного осеменения и кратность осеменения по линиям и популяциям) представлена в табл. 2.

Таблица 2. Анализ воспроизводительных признаков коров разных популяций

Table 2. Analysis of reproductive characteristics of cows from different populations

Линия	Популяция	Возраст первого отела, мес.	Возраст первого осеменения, мес.	Возраст первого плодотворного осеменения, мес.	Кратность осеменений, раз
		$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
Вольный 470 ЯЯ-4370	Ярославская	$26,1 \pm 0,2$	$16,2 \pm 0,15$	$17 \pm 0,24$	$1,5 \pm 0,1$
	Вологодская	$26,9 \pm 0,3^*$	$17,2 \pm 0,28^{**}$	$17,9 \pm 0,30^*$	$1,8 \pm 0,2$
Добрый 593 ЯЯ-4627	Ярославская	$26,3 \pm 0,3$	$16,4 \pm 0,27$	$17,2 \pm 0,24$	$1,5 \pm 0,1$
	Вологодская	$26,2 \pm 0,3$	$16,6 \pm 0,26$	$17,1 \pm 0,30$	$1,7 \pm 0,2$
Мурат 7 ЯЯ-4388	Ярославская	$26,9 \pm 0,3$	$16,8 \pm 0,26$	$17,8 \pm 0,33$	$1,9 \pm 0,1$
	Вологодская	$25,4 \pm 0,3$	$15,9 \pm 0,24$	$16,4 \pm 0,27$	$1,5 \pm 0,1$
Чародей 62 ЯЯ-1544	Ярославская	$26,5 \pm 0,3$	$16,5 \pm 0,25$	$17,4 \pm 0,28$	$1,8 \pm 0,2$
	Вологодская	$25,5 \pm 0,6$	$16,5 \pm 0,61$	$16,5 \pm 0,61$	$1,7 \pm 0,3$
Жилет 345 ЯЯ-4574	Ярославская	$25,5 \pm 0,3$	$15,9 \pm 0,26$	$16,5 \pm 0,30$	$1,5 \pm 0,1$
	Вологодская	$25,4 \pm 0,2$	$16,1 \pm 0,19$	$16,3 \pm 0,20$	$1,3 \pm 0,1$
Март 56 ЯЯ-2456	Ярославская	$26,9 \pm 0,3$	$16,8 \pm 0,24$	$17,8 \pm 0,34$	$1,9 \pm 0,1$
	Вологодская	—	—	—	—

Из данных табл. 2 видно, что наиболее ранний возраст первого осеменения (15,9 мес.) в ярославской популяции принадлежит коровам линии Жилет 345 ЯЯ-4574, а в вологодской популяции – животным линии Мурат 7 ЯЯ-4388. Однако в ярославской популяции животные линии Мурат 7 ЯЯ-4388 имеют самый высокий показатель возраста первого осеменения, который составил 16,8 мес.

Достоверная разница при $p \geq 0,99$ выявлена у коров линии Вольный 470 ЯЯ-4370 – 16,2 и 17,2 мес. между ярославской и вологодской популяцией соответственно. Между другими линиями значимых различий не выявлено.

Необходимо отметить, что в линиях Жилет 345 ЯЯ-4574, Чародей 62 ЯЯ-1544 и Мурат 7 ЯЯ-4388 разница между возрастом первого осеменения и возрастом первого плодотворного осеменения у животных вологодской популяции меньше (от 0 до 0,5 мес.), чем у ярославских (от 0,6 до 1 мес.). Коровы линии Жилет 345 ЯЯ-4574 в обеих исследуемых популяциях имеют наименьший возраст первого отела – 25,5 и 25,4 мес. соответственно. Наиболее поздним отелом отличаются животные ярославской популяции линии Мурат 7 ЯЯ-4388 (26,9 мес.), в вологодской популяции – коровы линии Вольный 470 ЯЯ-4370 (26,9 мес.).

Низкий показатель кратности осеменения (1,3 и 1,5 раза) по обеим популяциям установлен у животных линии Жилет 345 ЯЯ-4574. У коров ярославской популяции наименьший показатель кратности осеменений (1,5 раза) также установлен в линиях Вольный 470 ЯЯ-4370 и Добрый 593 ЯЯ-4627, а в вологодской популяции – у животных линии Мурат (1,5 раза). Между популяциями внутри линий значимых различий не выявлено.

Показатели живой массы коров ярославской породы разных популяций в разрезе линий представлены в табл. 3.

Таблица 3. Живая масса коров ярославской породы в разрезе линий и популяций

Table 3. Live weight of Yaroslavl breed cows in the context of lines and populations

Линия	Популяция	Живая масса, кг		
		при рождении	при первом осеменении	при последней законченной лактации
		$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
Вольный 470 ЯЯ-4370	Ярославская	$32,8 \pm 0,53^{***}$	$377,9 \pm 3,15^{***}$	$526,1 \pm 5,45^{**}$
	Вологодская	$29,2 \pm 0,36$	$344,4 \pm 4,60$	$495,9 \pm 10,00$
Добрый 593 ЯЯ-4627	Ярославская	$30,6 \pm 0,56$	$374,5 \pm 2,53^{***}$	$539 \pm 7,82^{***}$
	Вологодская	$30,3 \pm 0,28$	$346,2 \pm 3,20$	$489 \pm 8,10$

Окончание табл. 3

Линия	Популяция	Живая масса, кг		
		при рождении	при первом осеменении	при последней законченной лактации
		$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
Мурат 7 ЯЯ-4388	Ярославская	33,2 ± 0,81*	376,8 ± 3,53***	525,8 ± 8,45**
	Вологодская	31,2 ± 0,42	350,4 ± 4,20	488,2 ± 10,30
Чародей 62 ЯЯ-1544	Ярославская	29,5 ± 0,60	366,9 ± 2,43*	544,4 ± 8,43
	Вологодская	30,7 ± 0,95	341 ± 10,60	555,8 ± 18,40
Жилет 345 ЯЯ-4574	Ярославская	32,9 ± 0,85***	376,6 ± 5,26***	523,7 ± 9,56***
	Вологодская	30,2 ± 0,21	357 ± 30	487,3 ± 7,60
Март 56 ЯЯ-2456	Ярославская	27,4 ± 0,78	371,7 ± 2,50	527,1 ± 7,85
	Вологодская	—	—	—

По данным табл. 3 можно установить, что в ярославской популяции наибольшей живой массой при рождении обладают животные линий Мурат 7 ЯЯ-4388 (33,2 кг), Вольный 470 ЯЯ-4370 (32,8 кг) и Жилет 345 ЯЯ-4574 (32,9 кг). Животные линии Мурат 7 ЯЯ-4388 в обеих областях имели наибольшую живую массу при рождении – 33,2 кг в Ярославской и 31,2 кг в Вологодской. В целом животные ярославской популяции имеют большую живую массу при рождении в сравнении с животными вологодской популяции на 0,3–3,6 кг. Однако животные по линии Чародей 62 ЯЯ-1544 вологодской популяции превосходят ярославскую по живой массе при рождении на 1,2 кг.

Схожая тенденция отмечена и при изучении живой массы при первом осеменении: животные ярославской популяции по всем линиям превосходят коров вологодской популяции на 19,6–33,5 кг, что является статистически значимым практически по всем линиям. Наибольшей живой массой в обеих популяциях при последней законченной лактации обладали животные линии Чародей 62 ЯЯ-1544 – 544,4 кг в Ярославской и 555,8 кг в Вологодской.

Анализ такого хозяйствственно полезного признака, как номер последней законченной лактации, позволяет оценить продолжительность использования животных в рамках линии и популяции (рис. 2).

Из данных рис. 2 видно, что в линиях между популяциями есть различия по сроку хозяйственного использования. Коровы вологодской популяции имеют наибольшие значения по линиям Чародей 62 ЯЯ-1544, Вольный 470 ЯЯ-4370, Добрый 593 ЯЯ-4627, Мурат 7 ЯЯ-4388. Разница с ярославской популяцией составила 63,1; 43,6; 51,3 и 31,3 % соответственно, что является статистически достоверным ($p \geq 0,99$; $p \geq 0,999$). По линии Жилет 345 ЯЯ-4574 животные обеих

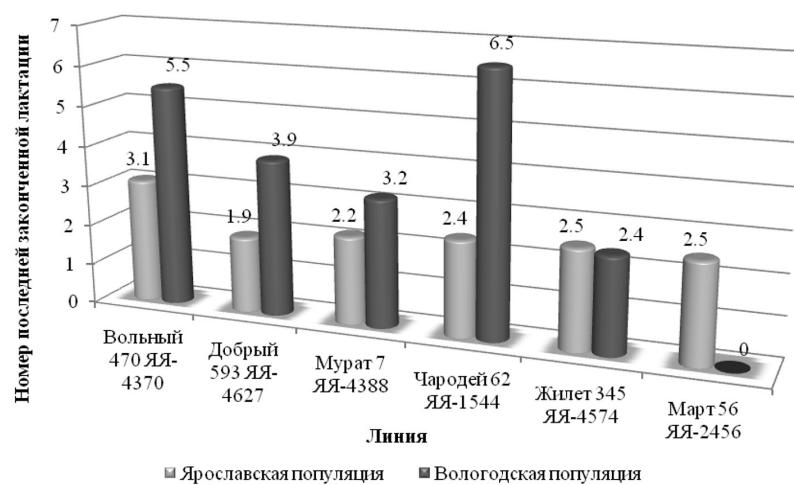


Рис. 2. Срок хозяйственного использования коров ярославской породы разных популяций в разрезе линий

Fig. 2. The period of economic use of Yaroslavl cows of different populations in the context of lines

популяций имеют схожий срок хозяйственного использования. Коровы линии Март 56 ЯЯ-2456 ярославской популяции имеют значения, близкие к линиям ярославской популяции.

Выводы. В ходе исследования установлено наличие поголовья 5 генеалогических линий чистопородного ярославского скота, разводимого в обеих популяциях, и 2 линий – Март 56 ЯЯ-2456 и Марс 11 ЯЯ-4319, – поголовье которых присутствует только в ярославской популяции. Наибольшее количество коров ярославской популяции относится к линии Вольный 470 ЯЯ-4370 (22 %), в вологодской популяции – к линии Жилет 345 ЯЯ-4574 (26,7 %).

Сравнительная оценка молочной продуктивности между двумя популяциями внутри линий показала достоверно значимые различия. Коровы ярославской популяции превосходят коров вологодской популяции по удою за 100 дней и 305 дней последней законченной лактации на 515,6 и 1 804,2 кг соответственно. По массовой доле белка в молоке также превосходство по всем линиям имеют коровы, разводимые в Ярославской области, показатель выше в среднем по всем линиям на 0,14 %. Коровы, выращиваемые в Вологодской области, являются наиболее жирно-молочными, превосходство по массовой доле жира над ярославской популяцией по всем линиям от 0,35 до 0,58 %.

По воспроизводительным признакам между популяциями выявлена достоверная разница у коров линии Вольный 470 ЯЯ-4370. Коровы ярославской популяции имели наиболее ранний возраст первого осеменения, первого плодотворного осеменения и первого отела – 16,2 мес., 17,0 мес. и 26,1 мес., что ниже, чем у вологодской популяции, на 5,8; 5,0 и 3,0 % соответственно.

Наибольшую живую массу при рождении и последней законченной лактации по всем линиям, кроме линии Чародей 62 ЯЯ-1544, имеют животные ярославской популяции. При первом осеменении наибольшая живая масса по всем линиям была у коров, разводимых в Ярославской области, превосходство в среднем по всем животным составило 27,3 кг.

Коровы, выращиваемые в Вологодской области, имеют наибольший срок хозяйственного использования, который составляет от 2,4 до 6,5 лактации в среднем по линиям. В ярославской популяции этот показатель был на уровне 1,9–3,1 лактации.

Проведенные исследования позволяют повысить генетический потенциал стад путем целенаправленного разведения по линиям, а также сохранить разнообразие генеалогической структуры для дальнейшей работы с ценной ярославской породой крупного рогатого скота. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ селекции на уровне стад или популяции.

Список использованных источников

1. Боронецкая, О. И. 3D-моделирование в изучении эволюции пород КРС на примере черепов великорусского и ярославского скота / О. И. Боронецкая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 5 (109). – С. 305–311. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-305-311>
2. Краниологическая коллекция Музея животноводства им. Е. Ф. Лискуна как объект изучения морфологических, генетических и зоотехнических особенностей пород крупного рогатого скота / В. И. Трухачев, О. И. Боронецкая, А. М. Остапчук [и др.] // Аграрная наука. – 2023. – № 3 (368). – С. 22–31. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-22-31>
3. Тамарова, Р. В. Создание нового типа ярославского скота «Михайловский» методом воспроизводительного скрещивания с использованием генофонда голштинской породы / Р. В. Тамарова. – Ярославль: ЯГСХА, 2002. – 186 с.
4. Сравнительная характеристика коров ярославской породы различных регионов Российской Федерации / С. В. Зырянова, М. В. Абрамова, М. О. Селимян, Н. И. Абрамова // АгроЗоВТехника. – 2025. – Т. 8, № 2. – Ст. 6. <https://doi.org/10.15838/alt.2025.8.2.6>
5. Результаты мониторинга генотипической структуры в популяции крупного рогатого скота ярославской породы / Д. К. Некрасов, А. Е. Колганов, О. А. Зеленовский // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 8. – С. 9–14. <https://doi.org/10.33943/MMS.2019.44.58.004>
6. Казаровец, Н. В. Эволюция селекционного процесса по воспроизводству отечественных быков-производителей в Республике Беларусь / Н. В. Казаровец, И. П. Шейко, Т. В. Павлова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных наук. – 2020. – Т. 58, № 4. – С. 455–471. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-4-455-471>
7. Рациональное использование и проблема сохранения локальных пород молочного скота (обзор) / М. Б. Улимбашев, Н. В. Коник, О. А. Краснова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2024. – Т. 59, № 6. – С. 1055–1075. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1055rus>
8. Попов, Н. А. Значимость разведения по линиям крупного рогатого скота молочных пород / Н. А. Попов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2021. – № 7. – С. 44–50. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202107006>

9. Грашин, А. А. Черно-пестрая порода: вчера, сегодня, завтра / А. А. Грашин, О. В. Тулинова, В. А. Грашин // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2024. – Т. 9, № 3. – С. 90–100. <https://doi.org/10.55170/1997-3225-2024-9-3-90-100>

10. Игнатьева, Л. П. Характеристика современной популяции крупного рогатого скота симментальской породы России с учетом генеалогической принадлежности / Л. П. Игнатьева, А. А. Сермягин // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2019. – № 4. – С. 67–72.

11. Система породного районирования крупного рогатого скота Ярославской области с учетом вариантов скрещивания и оптимизации программ селекции по каждой из разводимых пород / М. В. Абрамова, А. В. Ильина, С. В. Зырянова [и др.]. – Ярославль: Канцлер, 2021. – 143 с.

12. Сравнительная характеристика хозяйственно полезных признаков крупного рогатого скота ярославской породы с разной степенью кровности по голштинам в условиях Вологодской области / М. О. Селимян, Н. И. Абрамова, О. Л. Хромова, Н. В. Зенкова // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2024. – № 6. – С. 20–24. <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.21.86.004>

13. Коновалов, А. В. Мониторинг генеалогической структуры ярославского скота / А. В. Коновалов, Н. М. Косяченко // *Аграрный вестник Верхневолжья*. – 2014. – № 4. – С. 66–70.

14. Давыдова, А. С. Молочная продуктивность и воспроизводство скота ярославской породы разных линий / А. С. Давыдова, Е. Г. Федосенко // *Вестник АПК Верхневолжья*. – 2022. – № 3 (59). – С. 30–33. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.004>

15. Эффективность разведения современного голштинизированного черно-пестрого скота / А. С. Горелик, О. В. Горелик, М. Б. Ребезов [и др.] // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 100. – С. 205–213. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-205-213>

16. К вопросу о принципах линейного разведения в молочном скотоводстве / С. Н. Харитонов, Е. Е. Мельникова, О. Ю. Осадчая [и др.] // *Генетика и разведение животных*. – 2018. – № 2. – С. 13–19. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-2-13-19>

17. Каталог быков-производителей 2023–2024 гг. / АО «Ярославское» по плем. работе; [подгот.: М. М. Корнеев и др.]. – Ярославль: [б. и.], 2022. – 135 с. – URL: <https://yarplem.ru/upload/iblock/e23/9hlmdkkgy2pxn3qqsg0cuavacxmqntlb.pdf> (дата обращения: 27.02.2025).

18. Ярославская порода: [каталог] // Племпредприятие «Череповецкое». – URL: <http://www.plem35.ru/yaroslavskaya-poroda.html> (дата обращения: 23.05.2025).

19. Каталог быков ярославской породы, оцененных по качеству потомства / Яросл. науч.-исслед. ин-т животноводства и кормопроизводства, Яросл. госплемобъединение; подгот.: В. Ф. Максименко [и др.]. – Ярославль: [б. и.], 1984. – Вып. 4. – 212 с.

References

1. Boronetskaya O. I. 3D-modeling in studying the evolution of cattle breeds using the example of skullsof Great Russian and Yaroslavl cattle. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2024, no. 5 (109), pp. 305–311 (in Russian).
2. Trukhachev V. I., Boronetskaya O. I., Ostapchuk A. M., Yuldashbaev Yu. A., Kaledin A. P., Ovchinnikov A. V., Tyutyunnikova A. V., Rubtsova I. S., Grinicheva A. S., Nikolaev A. A. The craniological collection of the Museum of Animal Husbandry named after E. F. Liskun, as an object of study of morphological, genetic and zootechnical features of cattle breeds. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*, 2023, no. 3, pp. 22–31 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-22-31>
3. Tamarova R. V. *Creation of a new type of Yaroslavl cattle “Mikhailovsky” by the method of reproductive crossing using the gene pool of the Holstein breed*. Yaroslavl, Yaroslavl State Agricultural Academy, 2002. 186 p. (in Russian).
4. Zyryanova S. V., Abramova M. V., Selimyan M. O., Abramova N. I. Comparative characteristics of Yaroslavl breed cows from different Russian regions. *AgroZooTekhnika = Agricultural and Livestock Technology*, 2025, vol. 8, no. 2, art. 6. (in Russian). <https://doi.org/10.15838/alt.2025.8.2.6>
5. Nekrasov D. K., Kolganov A. E., Zelenovsky O. A. Results of monitoring the genotypic structure in the cattle population of the Yaroslavl breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Dairy and Beef Cattle Farming*, 2019, no. 8, pp. 9–14 (in Russian).
6. Kazarovets N. V., Sheyko I. P., Pavlova T. V. Evolution of breeding process for reproduction of domestic producing bulls in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no. 4, pp. 455–471 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-4-455-471>
7. Ulimbashev M. B., Konik N. V., Krasnova O. A., Kapitonova E. A., Tletseruk I. R., Tatueva O. V., Sannikova N. A., Golembovsky V. V. Use and preservation of local dairy cattle breeds (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2024, vol. 59, no. 6, pp. 1055–1075 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1055rus>
8. Popov N. A. The importance of breeding along the lines cattle of dairy breeds. *Veterinariya, zootehnika i biotekhnologiya = Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*, 2021, no. 7, pp. 44–50 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202107006>
9. Grashin A. A., Tulinova O. V., Grishin V. A. Black-mottled breed: yesterday, today, tomorrow. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 2024, no. 3, pp. 90–100 (in Russian). <https://doi.org/10.55170/1997-3225-2024-9-3-90-100>
10. Ignatieva L. P., Sermyagin A. A. Characteristics of the modern population of the cattle Simmental's breed in Russia allowing for genealogy structure. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2019, no. 4, pp. 67–72 (in Russian).

11. Abramova M. V., Il'ina A. V., Zyryanova S. V., Evdokimov E. G., Malina Yu. I., Konovalov A. V., Lapina M. Yu. *Breed zoning system of cattle in the Yaroslavl region, taking into account crossbreeding options and optimization of breeding programs for each cultivated breed*. Yaroslavl, Kantsler Publ., 2021. 143 p. (in Russian).
12. Selimyan M. O., Abramova N. I., Khromova O. L., Zenkova N. V. Comparative characteristics of selected traits of animals of the Yaroslavl breed with different degrees of bloodline according to the Holstein breed in the conditions of the Vologda region. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Dairy and Beef Cattle Farming*, 2024, no. 6, pp. 20–24 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.21.86.004>
13. Konovalov A. V., Kosyachenko N. M. Monitoring of Yaroslavl cattle genealogical structure. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*, 2014, no. 4, pp. 66–70 (in Russian).
14. Davydova A. S., Fedosenko E. G. Milk producing ability and reproduction of cattle of the Yaroslavl breed of different lines. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya = Herald of Agroindustrial Complex of Upper Volga Region*, 2022, no. 3 (59), pp. 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.004>
15. Gorelik A. S., Gorelik O. V., Rebezov M. B., Neverova O. P., Kharlap S. Yu., Gyrnets E. A. Efficiency of breeding Holsteinized modern black piece cattle. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2022, no. 100, pp. 205–213 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-205-213>
16. Kharitonov S., Melnikova E., Osadchaya O., Yanchukov I., Ermilov A., Sermyagin A. In the concern to the question about principles of line breeding in Russian dairy cattle sector. *Genetika i razvedenie zhivotnykh = Genetics and Breeding of Animals*, 2018, no. 2, pp. 13–19 (in Russian).
17. Breeding enterprise JSC Yaroslavskoye for pedigree work. *Catalog of breeding bulls 2023–2024*. Yaroslavl, 2022. 135 p. Available at: <https://yarplem.ru/upload/iblock/e23/9hlmdkkgy2pxn3qqsg0cuavacxmqntlb.pdf> (accessed 27 February 2025) (in Russian).
18. Yaroslavl breed. *Cherepovets Breeding Enterprise*. Available at: <http://www.plem35.ru/yaroslavskaya-poroda.html> (accessed 23 May 2025) (in Russian).
19. Maksimenko V. F., Pustovalov B. G., Rakhmanova M. M., Aksenenkov N. N. *Catalog of Yaroslavl breed bulls evaluated by the quality of offspring. Issue 4*. Yaroslavl, 1984. 212 p. (in Russian).

Информация об авторах

Селимян Максим Олегович – научный сотрудник, заведующий лабораторией молекулярно-генетической и иммуногенетической экспертизы животных, Вологодский научный центр Российской академии наук (ул. Горького, 56а, 160014, Вологда, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0002-6681-7879>. E-mail: sss090909@mail.ru

Зырянова Светлана Владимировна – старший научный сотрудник лаборатории селекции и разведения сельскохозяйственных животных, Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса (ул. Ленина, 1, 150517, пос. Михайловский, Ярославский район, Ярославская область, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0002-4975-9806>. E-mail: zyryanovasv2017@yandex.ru

Абрамова Наталья Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела разведения сельскохозяйственных животных, Вологодский научный центр Российской академии наук (ул. Горького, 56а, 160014, Вологда, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0002-5315-7656>. E-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Абрамова Марина Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, Ярославский государственный аграрный университет (Тутаевское шоссе, 58, 150042, Ярославль, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0003-3085-8844>. E-mail: abramova@yarcx.ru

Information about the authors

Maksim O. Selimyan – Researcher, Head of the Laboratory of Molecular Genetic and Immunogenetic Examination of Animals, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56a, Gorkii St., 160014, Vologda, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-6681-7879>. E-mail: sss090909@mail.ru

Svetlana V. Zyryanova – Senior Researcher of the Laboratory of Selection and Breeding of Farm Animals, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agro-ecology (1, Lenin St., Mikhailovsky village, 150517, Yaroslavl District, Yaroslavl Region, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-4975-9806>. E-mail: zyryanovasv2017@yandex.ru

Natalya I. Abramova – Ph. D. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Breeding of Agricultural Animals, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56a, Gorkii St., 160014, Vologda, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-5315-7656>. E-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Marina V. Abramova – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Zootechnics, Yaroslavl State Agrarian University (58, Tutaevskoe highway, 150042, Yaroslavl, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0003-3085-8844>. E-mail: abramova@yarcx.ru

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 639.3.091:556.5

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

Поступила в редакцию 03.10.2025

Received 03.10.2025

**В. Г. Костоусов, В. И. Лишко, В. А. Ласица, Т. И. Попиначенко,
М. И. Панасюк, О. Д. Апсоліхова**

*Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь,
Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЧИН ГИБЕЛИ РЫБ

Аннотация. Представлены результаты гидрохимического анализа, проведенного с целью установления причин массовой гибели рыбы. Рассмотрены ключевые показатели качества воды, включая концентрации растворенного кислорода, аммонийного азота, нитратов, фосфатов, а также уровни pH и температуры. Эти параметры были выбраны в качестве индикаторов, наиболее чувствительных к изменениям в водной среде и способных отразить общее состояние экосистемы. Особое внимание уделено сезонной динамике изменения гидрохимических показателей. Анализ выявил отклонение ряда параметров от предельно допустимых норм, что указывает на возможное антропогенное загрязнение водоемов. Полученные данные позволяют установить связь между изменениями гидрохимического состава воды и наблюдаемыми случаями гибели рыбы, что может служить основой для разработки мер по предупреждению подобных экологических инцидентов в будущем. Такие меры могут включать усиление контроля за источниками сбросов, внедрение программ очистки сточных вод и проведение регулярного мониторинга состояния водоемов.

Ключевые слова: гидрохимия, водоем, замор, водохранилище, рыба

Для цитирования: Оценка качества среды при выявлении причин гибели рыб / В. Г. Костоусов, В. И. Лишко, В. А. Ласица [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 69–75. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

**Vladimir G. Kostousov, Vlad I. Lishko, Vlad A. Lasitsa, Taisiya I. Popinachenko,
Maria I. Panasyuk, Olga D. Apsolikhova**

Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

HABITAT AS A TOOL FOR IDENTIFYING THE CAUSES OF MASS FISH DEATHS

Abstract. The results of a hydrochemical analysis conducted to determine the causes of mass death of fish are presented. The key indicators of water quality, including concentrations of dissolved oxygen, ammonium nitrogen, nitrates, phosphates, as well as pH and temperature levels, are considered. These parameters were chosen as the indicators most sensitive to changes in the aquatic environment and able to reflect the overall state of the ecosystem. Special attention is paid to the seasonal dynamics of changes in hydrochemical parameters. The analysis revealed a deviation of a number of parameters from the maximum permissible norms, which indicates possible anthropogenic pollution of water bodies. The data obtained make it possible to establish a link between changes in the hydrochemical composition of water and observed fish deaths, which can serve as a basis for developing measures to prevent similar environmental incidents in the future. Such measures may include increased control over discharge sources, the introduction of wastewater treatment programs, and regular monitoring of the condition of reservoirs.

Keywords: hydrochemistry, water, overseas, reservoir, fish

For citation: Kostousov V. G., Lishko V. I., Lasitsa V. A., Popinachenko T. I., Panasyuk M. I., Apsolikhova O. D. Habitat as a tool for identifying the causes of mass fish deaths. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 69–75 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

Введение. В водоемах Беларусь в последние годы участились случаи массовой гибели рыбы в период открытой воды, что не укладывается в принятые представления о заморных явлениях. Среди возможных причин рассматривают различные абиотические и биотические факторы, но показатели качества среды обитания имеют особое значение, поскольку могут выступать лимитирующим фактором по ряду показателей. В водных системах крайне важен баланс физических, химических и биологических факторов для поддержания жизнедеятельности всех составляющих водной биоты, и в частности ихтиофауны.

Все эти факторы тесно связаны между собой и непрерывно меняются в динамичной водной системе. Поэтому так важно отслеживать показатели качества воды. Одним из основных биоиндикаторов качества воды могут выступать рыбы, поскольку по их состоянию можно отследить нарушения в водной среде. В качестве полигонов исследований были выбраны Осиповичское и Чигиринское водохранилища (Могилевская область). Выбор объектов для наблюдения обоснован тем, что вдхр. Осиповичское служит приемником вод р. Свислочь, а Чигиринское широко используется для рекреации, при этом в обоих водоемах были отмечены периодические случаи гибели рыб. Эти случаи необъяснимой массовой гибели рыбного населения показали необходимость исследований качества среды обитания для выяснения возможных причин заморов и предотвращения более широких экологических последствий.

В водных экосистемах лимитирующими для рыб выступают чаще всего газовый режим и элементы солевого состава, способные при изменении температуры и активной реакции среды оказывать негативное или токсическое воздействие.

Дефицит растворенного кислорода определяется балансом насыщения и потребления и имеет сезонную специфику. Основным потребителем кислорода в естественных и искусственных водоемах выступает микробное сообщество, участвующее в трансформации органического вещества и ответственное за окислительно-восстановительные процессы. Повышение содержания легкоокисляемой органики в воде даже в летний период способно формировать дефицит растворенного кислорода за счет возрастания интенсивности его потребления. В свою очередь, повышенные концентрации ряда химических компонентов способны оказывать токсическое воздействие на внутренние органы рыб вне зависимости от их происхождения (природное или антропогенное).

Химические загрязнители могут попадать в водоемы различными путями. Основными источниками загрязнений являются сельскохозяйственные стоки, содержащие продукты отходов животноводства и удобрения, а также коммунальные стоки, промышленные сточные воды, приводящие к попаданию загрязнителей в поверхностные водные объекты.

По степени потенциальной угрозы особое внимание было уделено концентрациям азотсодержащих веществ (нитраты, нитриты, аммонийный азот). Азотистые соединения являются продуктами метаболизма белка в организме рыб. В воде азот представлен как альбуминной формой, так и продуктами ее распада под воздействием микроорганизмов. Некоторые из них могут представлять угрозу для жизнедеятельности рыб. В целом слаботоксичный ионизированный аммиак (NH_4^+) при определенных условиях может переходить в токсичный неионизированный аммиак (NH_3), способный вызывать аммиачный токсикоз и блокировать потребление кислорода.

Повышенные концентрации ионизированного аммиака (NH_4^+) влияют на метаболический статус водных позвоночных, нарушая сокращение мышц из-за конкуренции с ионами калия, присутствующими в мышечной мембране [1]. Он способен вызывать нейротоксичность, деполяризую нейроны и истощая АТФ (аденозинтрифосфорная кислота), что может привести к гибели клеток [2].

Также потенциальную угрозу представляет концентрация нитрит-ионов (NO_2^-), которая в системах аквакультуры с высокой плотностью населения водными организмами может достигать токсичных концентраций, поэтому строго регламентируется. Они являются промежуточным продуктом при бактериальном окислении аммиака до нитратов. Это азотистое соединение высокотоксично для водных организмов и представляет потенциальную угрозу для рыбы в естественных водоемах.

Воздействие нитритов влияет на показатели крови, что приводит к гипоксии метгемоглобина и гемолитической анемии. Это вызывает повреждение тканей, а также нарушение обмена веществ [3, 4]. Нитраты могут попадать в организм рыб путем диффузии в жаберном эпителии [5, 6]. Повышенная концентрация нитратов в организме влияет на потребление пищи, скорость роста [7, 8], способность плавать, репродуктивные способности [9, 10], приводит к нарушениям в развитии [11] и снижает выживаемость [12].

Материалы и методы исследований. В качестве полигонов наблюдения в период проведения исследований были выбраны два водохранилища – Чигиринское и Осиповичское, на которых зафиксированы массовые случаи гибели рыбы. Русловые водохранилища Чигиринское

(система р. Друть) и Осиповичское (система р. Свислочь) используются для целей энергетики, коммунального и рыбного хозяйства, рекреации. Сбор и обработку проб для характеристики гидрохимического режима данных водных объектов осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками [13, 14] в разные гидрологические сезоны (зима, весна и летне-осенняя межень) с поверхностного и придонного горизонтов. Результаты были приведены к интегрированному показателю.

Пробы отбирались по трем створам: по нижнему и верхнему, а также по середине водохранилищ. Оценку качества вод водохранилищ по показателям загрязнения биогенными элементами проводили в соответствии с требованиями постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 15 декабря 2023 г. № 15-Т «Об утверждении экологических норм и правил»¹ (далее – постановление № 15Т) [15].

Результаты и их обсуждение. Результаты основных показателей представлены в таблице.

Показатели качества воды исследованных водоемов

Water quality indicators of the studied reservoirs

Показатель	Единицы измерения	Норматив по СТБ 1943-2009 ¹	Водоем и период проведения исследований					
			подледный		весенний		лето – осень	
			вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское	вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское	вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское
Прозрачность	м	0,75–1,0	1,0	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9
Температура	°С	До 28	1,6	1,9	7,1	7,8	20,3	18,8
pH	–	6,5–8,5	8,0	8,1	8,5	8,5	8,2	8,8
Концентрация O ₂	мг/л	>5,0	5,3	5,22	10,72	11,65	6,38	10,01
Концентрация NO ₂ ⁻	мг/л	До 0,020	0,005	0,026	0,008	0,019	0,013	0,142
-// NH ₄ ⁺	мг/л	До 0,1	0,86	1,89	0,47	0,85	0,16	0,79
-// NH ₃	мг/л	До 0,05	–	–	0,026	0,048	0,006	0,048
-// NO ₃ ⁻	мг/л	До 2,0	0,28	0,19	3,89	5,87	0,59	5,62
-// P _{мин}	мг/л	До 0,5	0,066	0,40	0,05	0,44	0,032	0,285
-// Fe _{общ}	мг/л	До 1,8	0,29	0,20	0,16	0,15	0,19	0,12
Жесткость общая	мг-экв/л	1,5–7,0	4,7	4,5	3,4	4,2	3,75	4,25
-// Ca ²⁺	мг/л	Не нормируется	60,0	58,0	44	52	47,0	55,0
-// Mg ²⁺	мг/л	Не нормируется	20,0	19,0	15	19,4	16,5	18,0
Окисляемость перманганатная	мгО/л	До 15,0	9,49	9,58	15,69	16,38	10,02	8,59

Температурный режим в анализируемых водоемах в подледный период соответствовал сезонному распределению и едва ли мог иметь негативные последствия для рыбы. В водоемах наблюдалась обратная стратификация водной массы с некоторым повышением температуры воды от поверхности льда ко дну.

Газовый режим в Чигиринском и Осиповичском водохранилищах в подледный период отмечен некоторым снижением содержания растворенного кислорода по отношению к оптимуму, но величины не выходили за критические для рыб значения. Активная реакция среды щелочная (pH = 8,0–8,1), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций.

По солевому составу вода Чигиринского и Осиповичского водохранилищ относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу со средней жесткостью (4,5–4,7 мг-экв/л). Лимитирующее значение

¹ Об утверждении экологических норм и правил: постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 15 дек. 2023 г. № 15-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p> (дата обращения: 03.09.2025).

² Вода рыбоводческих прудов. Требования: СТБ 1943-2009. Введен 01.08.2009. Мн.: Гостандарт, 2009. 16 с.

ние для рыб в подледный период могут иметь концентрации биогенных элементов, участие которых в окислительно-восстановительных реакциях отражается на газовом режиме. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора отмечены в обоих водоемах, нитритного азота – в вдхр. Осиповичское. Последнее по показателям загрязнения характеризуется как «сильно загрязненное» и «весыма грязное» [15], что обусловлено тем фактором, что водоем служит приемником вод р. Свислочь ниже сброса очистных сооружений г. Минска.

Аммонийный азот при повышенных значениях рН (более 7,5) способен переходить в токсичный свободный аммиак и вызывать острые токсикозы рыб. Фоновый показатель безопасного содержания аммонийного азота для поверхностных водоемов рыбохозяйственного назначения, согласно постановлению № 15Т, составляет до 0,39 мг/л, тогда как в подледный период концентрации ионизированного аммония достигали в вдхр. Чигиринское 0,86 мг/л, а в вдхр. Осиповичское и вовсе 1,89 мг/л. При сложившемся температурном фоне воды такое содержание ионов аммония способно поддерживать концентрацию неионизированного аммиака около 0,01 мг/л, что не выходит за рамки допустимых значений для рыбоводных прудов (0,01–0,07 мг/л – СТБ 1943-2009). Следовательно, аммиачный токсикоз при наблюдаемом температурном фоне не являлся угрозой для жизнедеятельности рыб.

В целом по показателям прозрачности воды, ее солевого состава и окисляемости анализируемые водоемы следует отнести к эвтрофному типу водоемов (α - и β -мезосапробные).

Таким образом, в подледный период основным лимитирующим фактором выступает прежде всего кислородный режим водоемов, прочие факторы среды имеют лишь опосредованное значение через их воздействие на газовый режим водоемов.

В ранневесенний период гидрохимический режим во многом определяется снеговым паводком и уровнем выносимых с водосбора растворенных биогенов. В силу невысокой фотосинтетической активности в этот период концентрации биогенов (соединений азота и фосфора) могут достигать больших величин, чем в другие месяцы открытого сезона. Температура воды в изучаемых водоемах соответствовала ожидаемым сезонным значениям и вряд ли могла нанести какой-либо вред рыбам (см. таблицу). В водоемах наблюдалась гомотермия водной массы с некоторым повышением температуры воды у поверхности.

Газовый режим в водохранилищах в условиях ледового покрова и невысоких температур воды достаточно благоприятный. Активная реакция среды щелочная ($\text{pH} = 7,8–8,5$), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций и сезонным развитием холодолюбивых микроводорослей.

В весенний период вода была средней жесткости (3,4–4,2 мг-экв/л). Некоторое снижение общей жесткости обусловлено сезонным фактором (поступление менее минерализованных вод со снеговым паводком), что сказывается на общем соотношении ионов щелочноземельных металлов, обычно поступающих с грунтовым питанием. Лимитирующее значение для рыб в весенний период могут иметь реакция среды (pH) и концентрации некоторых биогенных элементов, участие которых в окислительно-восстановительных реакциях отражается на газовом режиме. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора, отмеченные в подледный период, в результате химической и бактериальной деструкции несколько снизились, но оставались достаточно высокими.

Содержание токсичного неионизированного аммиака отмечается на уровне следов и в таком виде не способно оказывать негативного воздействия на рыб. В то же время содержание конечного продукта нитрофикации – нитратного азота возросло в Чигиринском и Осиповичском водохранилищах, что подчеркивает степень их антропогенного загрязнения. Избыточное соединение форм минерального азота в воде на фоне слабощелочной или щелочной реакции среды может сказываться на процессах выведения продуктов метаболизма (в виде аммиака) из организмов рыб, вызывая у некоторых из них (например, карп, толстолобики) поражения жаберного аппарата с последующей контаминацией микрофлорой и частичной гибелью рыб.

Показатели качества воды в летний период определяются особенностями питания и характером водосбора водоемов, уровнем внутриводоемных производственных процессов и степенью развития первичных производителей.

Температурный режим в летний период (см. таблицу) в анализируемых водоемах соответствовал сезонному распределению и едва ли мог иметь негативные последствия для рыбы. В водоемах наблюдалась гомотермия водной массы с некоторым повышением температуры воды у поверхности.

Газовый режим в водохранилищах в условиях открытой воды и высокой интенсивности фотосинтеза первичных продуцентов был достаточно благоприятным и не лимитировал жизнедеятельность основной массы видов рыб. Активная реакция среды щелочная ($\text{pH} = 8,2\text{--}8,8$), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций и сезонным развитием микроводорослей.

Общая жесткость по сравнению с весенним периодом не изменилась в значительной степени и также оставалась на уровне 3,4–4,2 мг-экв/л. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора, отмеченные в подледный и весенний периоды, в результате химической и бактериальной деструкции снизились, сохраняя высокие значения только в вдхр. Осиповичское, подверженном постоянному загрязнению от поступлений с водосбора и коммунальных стоков. Как и в весенний период, содержание токсичного неионизированного аммиака отмечается на уровне следов и не способно негативно воздействовать на рыб. Содержание нитратного азота значительно снизилось в вдхр. Чигиринское. В Осиповичском содержание нитратного азота также несколько снизилось, но все еще оставалось на высоком уровне, что подчеркивает степень антропогенного загрязнения. Это может сказываться на интенсивности процессов выведения рыбой продуктов белкового обмена через жаберный аппарат и способствовать возникновению жаберных заболеваний [15–17].

Выводы. В ходе исследования установлен ряд негативных факторов, определяющих экологическое состояние водоемов в разные сезоны.

В зимний (подледный) период основным лимитирующим фактором выступает кислородный режим. Концентрации растворенного кислорода по всем точкам наблюдений не достигали критических значений и соответствовали минимально необходимому количеству для жизнедеятельности рыб. Однако другие показатели и накопление органических веществ могли способствовать формированию условий гипоксии. Концентрации аммонийного азота и минерального фосфора были значительно повышены, особенно в вдхр. Осиповичское, однако переход в токсичные формы при сложившемся температурном режиме был ограничен.

В весенний период, в условиях снегового паводка, наблюдалось снижение концентраций аммонийного азота, но рост нитратного азота, особенно в вдхр. Осиповичское, свидетельствует о продолжающемся антропогенном загрязнении. При этом слабощелочная реакция среды и высокая минерализация могут вызывать нарушения в обменных процессах у рыб и поражения жаберного аппарата, особенно у чувствительных видов.

Летний период характеризовался благоприятными условиями газообмена.

Таким образом, была выявлена высокая концентрация биогенных соединений и устойчивое антропогенное загрязнение, особенно выраженное в вдхр. Осиповичское. Критические значения для жизни рыб на момент исследований достигнуты не были, следовательно, условия абиотического характера не могли служить единственной причиной отмеченных случаев гибели рыб. Для установления истинной причины следует проводить дальнейший мониторинг и дополнительно рассмотреть такие факторы, как «цветение» воды сине-зелеными водорослями (наличие цианотоксинов), бактериальная обсемененность водной массы, различные заболевания рыб.

Список использованных источников

1. Camargo, J. A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment / J. A. Camargo, Á. Alonso // Environment International. – 2006. – Vol. 32, № 6. – P. 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
2. The interactive effects of ammonia exposure, nutritional status and exercise on metabolic and physiological responses in gold fish (*Carassius auratus* L.) / A. K. Sinha, H. J. Liew, M. Diricx [et al.] // Aquatic Toxicology. – 2012. – Vol. 109. – P. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.11.002>
3. Acute toxicity of nitrite and ammonia to *Daphnia similoides* of different developmental stages: using the modified Gaussian model to describe / F. Xiang, W. Yang, Y. Chen, Z. Yang // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2010. – Vol. 84, № 6. – P. 708–711. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0017-x>

4. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite / M. J. dos Santos Silva, F. F. B. da Costa, F. P. Leme [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 616–617. – P. 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
5. Jensen, F. B. Uptake, elimination and effects of nitrite and nitrate in freshwater crayfish (*Astacus astacus*) / F. B. Jensen // *Aquatic Toxicology*. – 1996. – Vol. 34, № 2. – P. 95–104. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(95\)00030-8](https://doi.org/10.1016/0166-445X(95)00030-8)
6. Stormer, J. Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: effects on ionic balance / J. Stormer, F. B. Jensen, J. C. Rankin // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1996. – Vol. 53, № 9. – P. 1943–1950. <https://doi.org/10.1139/cjfas-53-9-1943>
7. The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) / E. Schram, J. A C Roques, W. Abbink [et al.] // *Aquaculture Research*. – 2014. – Vol. 45, № 9. – P. 1499–1511. <https://doi.org/10.1111/are.12098>
8. Stelzer, R. S. Effects of elevated nitrate concentration on mortality, growth, and egestion rates of *Gammarus pseudolimnaeus* amphipods / R. S. Stelzer, B. L. Joachim // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2010. – Vol. 58, № 3. – P. 694–699. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9384-x>
9. Alonso, Á. Nitrate causes deleterious effects on the behaviour and reproduction of the aquatic snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca) / Á. Alonso, J. A. Camargo // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. 20, № 8. – P. 5388–5396. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1544-x>
10. Egea-Serrano, A. Contrasting effects of nitrogenous pollution on fitness and swimming performance of Iberian waterfrog, *Pelophylax perezi* (Seoane, 1885), larvae in mesocosms and field enclosures / A. Egea-Serrano, M. Tejedo // *Aquatic Toxicology*. – 2014. – Vol. 146. – P. 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.11.003>
11. Mallasen, M. Effects of nitrate concentration on larval development of the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii* / M. Mallasen, W. C. Valenti, D. Ismael // *Journal of Applied Aquaculture*. – 2004. – Vol. 14, № 3–4. – P. 55–69. https://doi.org/10.1300/J028v14n03_05
12. Acute tolerance and histopathological effects of ammonia on juvenile maroon clownfish *Premnas biaculeatus* (Block 1790) / R. V. Rodrigues, L. A. Romano, M. H. Schwarz [et al.] // *Aquaculture Research*. – 2014. – Vol. 45, № 7. – P. 1133–1139. <https://doi.org/10.1111/are.12054>
13. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте [и др.]. – Даугавпилс: Даугавпилс. ун-т «Сауле», 2017. – 282 с.
14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Гидрохим. ин-т; под ред. А. Д. Семенова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 541 с.
15. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксюк, В. Н. Жукинский, Л. П. Брагинский [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.
16. Ихтиопатология / под ред. Н. А. Головиной, О. Н. Бауера. – М.: Мир, 2003. – 448 с.
17. Грищенко, Л. И. Болезни рыб и основы рыбоводства: учебник / Л. И. Грищенко, М. Ш. Акбаев, Г. Л. Васильков. – М.: Колос, 1999. – 455 с.

References

1. Camargo J. A., Alonso Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International*, 2006, vol. 32, no. 6, pp. 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
2. Sinha A. K., Liew H. J., Diricx M., Blust R., De Boeck G. The interactive effects of ammonia exposure, nutritional status and exercise on metabolic and physiological responses in gold fish (*Carassius auratus* L.). *Aquatic Toxicology*, 2012, vol. 109, pp. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.11.002>
3. Xiang F., Yang W., Chen Y., Yang Z. Acute toxicity of nitrite and ammonia to *Daphnia similooides* of different developmental stages: using the modified Gaussian model to describe. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, vol. 84, no. 6, pp. 708–711. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0017-x>
4. Dos Santos Silva M. J., da Costa F. F. B., Leme F. P., Takata R., Costa D. C., Mattioli C. C., Miranda-Filho K. C. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 616, pp. 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
5. Jensen F. B. Uptake, elimination and effects of nitrite and nitrate in freshwater crayfish (*Astacus astacus*). *Aquatic Toxicology*, 1996, vol. 34, no. 2, pp. 95–104. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(95\)00030-8](https://doi.org/10.1016/0166-445X(95)00030-8)
6. Stormer J., Jensen F. B., Rankin J. C. Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow, *Oncorhynchus mykiss*: effects on ionic balance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, vol. 53, no. 9, pp. 1943–1950. <https://doi.org/10.1139/cjfas-53-9-1943>
7. Schram E., Roques J. A., Abbink W., Yokohama Y., Spanings T., de Vries P., Bierman S., Van de Vis H., Flik G. The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, 2014, vol. 45, no. 9, pp. 1499–1511. <https://doi.org/10.1111/are.12098>
8. Stelzer R. S., Joachim B. L. Effects of elevated nitrate concentration on mortality, growth, and egestion rates of *Gammarus pseudolimnaeus* amphipods. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, vol. 58, no. 3, pp. 694–699. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9384-x>
9. Alonso Á., Camargo J. A. Nitrate causes deleterious effects on the behaviour and reproduction of the aquatic snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, no. 8, pp. 5388–5396. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1544-x>

10. Egea-Serrano A., Tejedo M. Contrasting effects of nitrogenous pollution on fitness and swimming performance of Iberian waterfrog, *Pelophylax perezi* (Seoane, 1885), larvae in mesocosms and field enclosures. *Aquatic Toxicology*, 2014, vol. 146, pp. 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.11.003>
11. Mallasen M., Valenti W. C., Ismael D. Effects of nitrate concentration on larval development of the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Applied Aquaculture*, 2004, vol. 14, no. 3–4, pp. 55–69. https://doi.org/10.1300/J028v14n03_05
12. Rodrigues R. V., Romano L. A., Schwarz M. H., Delbos B., Sampaio L. A. Acute tolerance and histopathological effects of ammonia on juvenile maroon clownfish *Premnas biaculeatus* (Block 1790). *Aquaculture Research*, 2014, vol. 45, no. 7, pp. 1133–1139. <https://doi.org/10.1111/are.12054>
13. Plotnikov G. K., Peskova T. Y., Shkute A., Pupin A., Pupins M. *Collection of classical methods of hydrobiological research for use in aquaculture*. Daugavpils, Daugavpils University Academic Press “Saule”, 2017. 282 p. (in Russian).
14. Semenov A. D. (ed.). *Guidelines for the chemical analysis of land surface waters*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 541 p. (in Russian).
15. Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Braginskii L. P., Linnik P. N., Kuz'menko M. I., Klenus V. G. Comprehensive ecological classification of land surface water quality. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Hydrobiological Journal*, 1993, vol. 29, no. 4, pp. 62–76 (in Russian).
16. Golovina N. A., Bauer O. N. (eds.). *Ichthyopathology*. Moscow, Mir Publ., 2003. 448 p. (in Russian).
17. Grishchenko L. I., Akbaev M. Sh., Vasil'kov G. L. *Fish diseases and fundamentals of fish farming*. Moscow, Kolos Publ., 1999. 455 p. (in Russian).

Информация об авторах

Костоусов Владимир Геннадьевич – кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Лишико Владислав Иванович – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Ласица Владислав Александрович – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Попиначенко Таисия Ивановна – старший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Панасюк Мария Игоревна – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Апсолихова Ольга Дмитриевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по животноводству (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Information about the authors

Vladimir G. Kostousov – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Deputy Director of the Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Vlad I. Lishko – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Vlad A. Lasitsa – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Taisiya I. Popinachenko – Senior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Maria I. Panasyuk – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Olga D. Apsolikhova – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

МЕХАНИЗАЦІЯ І ЭНЕРГЕТЫКА
MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

UDC 631.331.032:633.15
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-76-88>

Поступила в редакцию 04.09.2025
 Received 04.09.2025

**Aftab Khaliq¹, Fiaz Ahmad², Ibrar Ahmad³, Muhammad Awais²,
 Hafiz Sultan Mahmood¹, Muhammad Mohsin Ali¹, Nadeem Zubair⁴**

¹*Agricultural Engineering Institute, National Agriculture Research Centre, PARC, Islamabad, Pakistan*

²*Department of Agricultural Engineering, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan*

³*College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, China*

⁴*School of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi City, China*

**EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF PRESSURE DISTRIBUTION MECHANISM
 IN A PNEUMATIC MAIZE PLANTER FOR LOCAL WORKING
 CONDITION IN PAKISTAN**

Abstract. This study was conducted to evaluate the feasibility of optimizing a series-type air distribution system in pneumatic planter transforming uniform seed placement through efficient vacuum pressure with the blower rotation for the planting of maize crop. A laboratory-based experimental facility was designed to test the performance of the pneumatic planter under four blower speeds (600, 900, 1 200, and 1 500 rpm) and three seed metering (SM) disc rotational speeds (17, 22, and 28 rpm). The most critical performance parameters were the vacuum pressure, the velocity losses of air, and the uniformity of seed-drop. To determine the effect of the blower rotation on vacuum pressure, the vacuum pressure was observed at different locations in the air distribution system. The experimental results were confirmed with ANSYS simulation modeling the dynamics of airflow and pressure distribution in the series air channel-type. The physical tests and the simulation tests done to determine the behaviour of the seeds in the airflow (vacuum pressure) and accurate delivery of the seeds. The findings revealed that revolution of blowers and rotation of the disc created a statistically significant difference ($p < 0.05$) in a vacuum pressure and seed distribution uniformity. The minimum optimal range of vacuum was -4.2 to -3.9 kPa that was created at 1 500 rotations of blower per minute (BR₄) and 22 rpm disc equivalence and the vacuum range was efficient on seed pick up and vortex seed loss. On the other hand, when the speeds of the blower were low (600–1 200 rpm) the vacuum pressure was weak (-0.24 to -2.28 kPa), with which the placement of the seeds was erratic. Even though BR₄ showed better performance, it also had the negative impact of increasing power requirement and fuel usage due to the heavy demand of the PTO on the tractor. The series type pressure distribution geometry optimized the performance of the pneumatic seed planter in terms of seed placement at BR₄ and disc speed of 22 rpm. Despite the enhanced reliability of operations when there is increased speed of blowers, careful thought should be put on energy efficiency.

Keywords: pneumatic planter, optimization, ANSYS, vacuum pressure, sowing uniformity

For citation: Aftab Khaliq, Fiaz Ahmad, Ibrar Ahmad, Muhammad Awais, Hafiz Sultan Mahmood, Muhammad Mohsin Ali, Nadeem Zubair. Experimental optimization of pressure distribution mechanism in a pneumatic maize planter for local working condition in Pakistan. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 76–88. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-76-88>

**Афтаб Халик¹, Фиаз Ахмад², Ибран Ахмад³, Мухаммад Аваис², Хафіз Султан Махмуд¹,
 Мухаммад Мохсин Али¹, Надім Зубаїр⁴**

¹*Институт механизации сельского хозяйства, Национальный центр сельскохозяйственных исследований,
 Исламабад, Пакистан*

²*Университет Бахауддина Закарии, Мултан, Пакистан*

³*Колледж биосистемной инженерии и науки о пищевых продуктах, Чжэцзянский университет, Ханчжоу, Китай*

⁴*Школа машиностроения, Университет Цзямысы, Цзямысы, Китай*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
 В ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕЯЛКЕ ДЛЯ КУКУРУЗЫ С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНЫХ
 УСЛОВИЙ РАБОТЫ В ПАКИСТАНЕ**

Аннотация. Исследование было проведено с целью оценки возможности оптимизации последовательной системы воздушного распределения в пневматической сейлке для обеспечения равномерного размещения семян посредством эффективного вакуумного давления при вращении воздуховодки для посева кукурузы. Лабораторный

экспериментальный стенд был разработан для испытаний пневматической сеялки при четырех скоростях вращения воздуховушки (600, 900, 1 200 и 1 500 об/мин) и трех скоростях вращения высевающего диска (17, 22 и 28 об/мин). Ключевыми параметрами оценки являлись вакуумное давление, потери скорости воздуха и равномерность высева семян. Для определения влияния вращения воздуховушки на вакуумное давление последнее фиксировалось в различных точках воздушной распределительной системы. Экспериментальные результаты были подтверждены моделированием при помощи CFD-технологии ANSYS (рассчитывались динамика воздушного потока и распределение давления в системе с последовательным воздушным каналом). Физические испытания и численное моделирование использовались для определения поведения семян в воздушном потоке (вакуумном давлении) и их точной подачи. Результаты показали, что скорость вращения воздуховушки и диска создавали статистически значимую разницу ($p < 0,05$) в вакуумном давлении и равномерность распределения семян. Минимальный оптимальный диапазон вакуума составлял от $-4,2$ до $-3,9$ кПа, что достигалось при 1 500 об/мин воздуховушки (BR_4) и скорости вращения диска 22 об/мин, и этот диапазон был эффективен для захвата семян и снижения потерь из-за вихревого эффекта. С другой стороны, при низких скоростях вращения воздуховушки (600–1 200 об/мин) вакуумное давление было слабым (от $-0,24$ до $-2,28$ кПа), вследствие чего размещение семян было неустойчивым. Несмотря на то что режим BR_4 показал лучшие результаты, он имел недостатки – рост потребления мощности и топлива из-за высокой нагрузки на ВОМ трактора. Геометрия конструкции последовательной системы подачи воздуха позволила оптимизировать работу пневматической сеялки по равномерности размещения семян при BR_4 и скорости диска 22 об/мин. При увеличении скорости вращения воздуховушки обеспечивается высокая надежность работы, однако следует учитывать вопросы энергоэффективности.

Ключевые слова: пневматическая сеялка, оптимизация, ANSYS, вакуумное давление, равномерность высева

Для цитирования: Экспериментальная оптимизация механизма распределения давления в пневматической сеялке для кукурузы с учетом локальных условий работы в Пакистане / Афтаб Халик, Фиаз Ахмад, Ибрар Ахмад [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 76–88. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-76-88>

Introduction. Maize (*Zea mays* L.) is widely grown to make several types of by products, which are used in the food and industrial sectors where demand is on a rapid increase in Pakistan, the maize production has improved through its production growing from 6.134 million tonnes to 8.465 million tonnes over the recent five years. Although this is a satisfactory production, reports show that there is a considerable gap between expected and actual yields of maize (8–12 t/ha and 4 t/ha respectively) in Pakistan [1]. Precision sowing machinery can help to establish seedling significantly, thus maximizing the crop yield and profit generation in a unit acre of maize production [2, 3]. The precision seed planters are considered as a better choice, in comparison with traditional and labor-intensive seeding systems [4].

The pneumatic precision planter has been designed with mechanically operated seed metering system that operates under vacuum pressure. The stability of the vacuum pressure has a large impact on the operational efficiency of a pneumatic seeder [5]. Pneumatic planters work with the both positive and negative pressures [6]. The working performance of the pneumatic planter is directly affected by the uniformity and stability of the air distribution system. The length of pipe and distance between the inlet to outlet have insignificant effects on the pressure and velocity loss [7, 8]. However, airflow distributors allocation is one of the most important factors to maintain the desired air pressure for efficient sowing [5, 9, 10]. It can enhance the engine power requirement to attain the desired pressure [11]. Therefore, the importance of the allotter in the air supply system cannot be ignored [5]. Reports show that the airflow distribution geometry highly affects the pressure loss during field operation of pneumatic planter [12–15].

Various studies evaluated design and operating conditions for pneumatic planter air distributors [9, 16–18]. Dai et al. [19] determined the effect of inlet pipe diameters on the pneumatic pressure of the precision planters and found that the increase in internal diameter of the pipe negatively affects the pressure of the pneumatic planter during the sowing operation. Yin et al. [5] examined four types of air distribution allotters for pressure stabilization in the corn planter using computational fluid dynamics (CFD) simulation and found that paralleled axis of the inlet and the outlet was the best way to kept the pressure consistency in seed metering system. Ghafori and Sharifi [20] evaluated the effect of the elbow angles (45°, 60°, and 90°) in the flow pipe with auxiliary air to the initial air intake for the pneumatic planter on seed delivery using CFD simulation and concluded that the 45° elbow performed well and reduced the conveying energy requirement and mitigated the seed damage [20]. The coupling of CFD with Discrete Element Method (DEM) is also an excellent option to simulate the air distribution geometries [21]. Hui Li et al. [22] conducted a research study to optimize the seed motion characteristics and working parameters of an air-assisted centralized pneumatic metering system using CFD-DEM simulation and the simulated results exhibited that air flow velocity 20–24 m/s at different feeding

rates improved the sowing uniformity and economized power consumption of the seedling system. The literature reports that an irrational mechanism for the air distribution system of the precision metering device causes uneven air distribution in each seeding unit, high pressure loss, seed loss, and also affects the field performance [23, 24].

The most of pneumatic planter used for maize sowing in Pakistan has a series type air distribution system. The available precision planters consume high power and show less uniformity in drilling the seed. Optimization of air flow system in the pneumatic planters is one of the main hurdles in the adoption of pneumatic planters. Very little is known about the pneumatic air flow geometry, hence it is direly needed to optimize the air flow system in the pneumatic planter.

Thus, the present study was conducted to investigate the effect of air distribution system on pressure profile and by compared with CFD analysis using ANSYS for its validation. The study was also aimed to optimize the series type air distribution system of pneumatic planter at various blower rotations and to determine its effect on the vacuum pressure, air velocity loss and their impact on the seed drop.

Material and Methods. Study Site. The laboratory experiment tests were performed at the Farm Machinery workshop of the Department of Agriculture Engineering, Bahauddin Zakariya University (Multan, Pakistan). The precision planter was operated with 85 Hp tractor (Millat 385 model) and the seed metering mechanism with 1 kW electric power motor which was integral part of the planter. The graded maize seed (Pioneer-P1429) with 90 % germination rate was used in all treatments to measure the performance of seed metering system.

Pneumatic Planter. In this study, pneumatic precision planter (AgriTech model 2018, AgriTech Industries, Multan, Pakistan) was used for the lab testing and validation of simulated results. The main part of this planter is a perforated seed disc and a circular rotation air suction blower which suck the air from the inlets at the right of each metering unit through 274 cm long pipe and create vacuum. The outlet reaching pipe that conveys the air to outlet was connected with four pipes having 5.10 cm diameter. The blower fan having 52.98 cm diameter was operated with the tractor PTO shaft to create the vacuum pressure. Four rubber pipes connect with the inlet to the air delivery pipe in the series combination. On the rear side of the planter two pneumatic wheels were attached, right side wheel rotates the fertilizer unit and left side operate the seed metering unit. The planter has two furrow openers which makes 68.5 cm wide furrow bed to place the seed (Figure 1).

Working of Laboratory Experimental Setup. The air distribution system plays significant role in the pneumatic planter which stabilize the vacuum pressure for its field. The planter was tested in the laboratory by using a test bench at the farm machinery laboratory of the Department of Agriculture

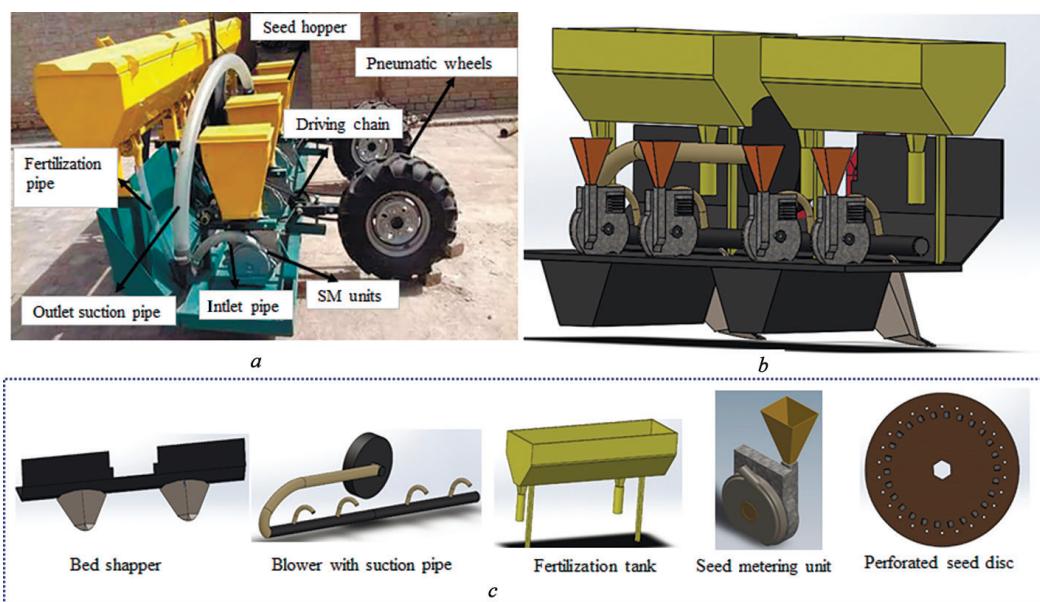


Figure 1. Pictorial representation of AgriTech pneumatic planter (a); developed model of planter (b); CAD model of planter: functional parts of planter (c)

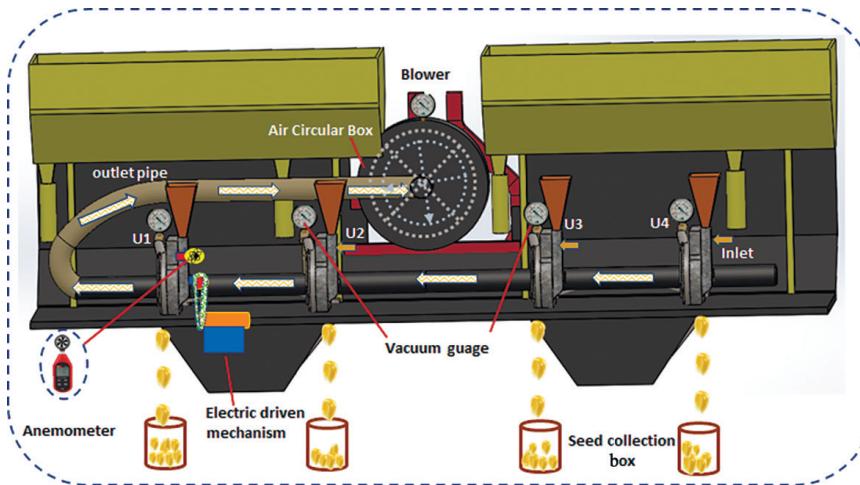


Figure 2. Schematic view of the lab scale motorized test bench

Engineering, Bahauddin Zakariya University. Pressure gauges were installed on each seed metering unit (U_1 , U_2 , U_3 , and U_4) to observe the vacuum pressure. Figure 2, shows the schematic view of the lab test bench which fully equipped with pressure gauge to determine the pressure distribution and seed collectors for seed dropping profile. The test bench was also equipped with an electric motor to run the metering unit at the smooth rotation of seed disc [25, 26] and seed collection boxes. Three sprockets of different diameters were also attached with electric motor to variate the angular speed of seed disc. The main focus of this experiment was to investigate the effect of airflow distributor geometry on the pressure distribution and air velocity profile in four air inlets of seed metering units at the different blower rpm. The pressure loss also effects the seed dropping profile [10, 27, 28].

The effect of pressure loss on the seed drop efficiency also evaluated at different blower rpm and disk rotation as shown in (Table 1). Airflow velocities were measured using a mini anemometer (UT363), with a range from 0.30 m/s and 5 % rdg + 0.5 accuracy. The rotation of the metering disc and blower pulley count using Digital Photo Tachometer (RM-1500/1501/1502) PROVA instruments INC. Digital Photo Tachometer had the capacity to count the rpm (10–29999) range with $0.04\% \pm 2$ accuracy. The planter was tested in the laboratory using selected parameters as shown in Figure 3.

Table 1. Operational parameters for lab scale testing of machine

Sr. No.	Parameters	Values
1	Blower revolution (rpm)	600 (BR ₁), 900 (BR ₂), 1 200 (BR ₃), 1 500 (BR ₄)
2	Disk rotation (rpm)	17, 22, 28

CFD Simulation of Air Distribution System. The CFD simulation was conducted to determine the effect of air flow geometry on the air pressure and to validate the laboratory findings for the optimization of the planter design. During maize sowing, air pressure was ensured (−3.5 to −4 kPa) in the distributors of the pneumatic precision planter. The CFD method was applied to different mechanical design structures [12]. For the computational method commercial ANSYS (Workbench) Fluent Release 16.2 ©SPS IP, Inc., software was used to analyze the vacuum pressure at each intel.

Building of Geometry. The findings of the flow field analysis depend primarily on the extraction of the computational region and grid features [29]. Therefore, three dimensional solid model of air distribution pipe was design using SolidWorks premium (2022) software (Figure 4, a). To simulate pressure distribution in ANSYS Fluent through air delivery mechanism, there is no need to design all part of the precision planter. The material which was used for the development of air distribution pipe was mild steel with density $7\ 850\ \text{kg/m}^3$, elastic modulus 210 GPa and poison ratio 0.303.

Generation of Mesh. The meshing had done in the ANSYS Fluent 16.2, to build the finite element model as shown in Figure 4, b. To get the maximum accuracy of quantitative analysis, tetrahedral cell meshed by fine size of meshing. The grid structure during meshing was cell-vertex to decompose

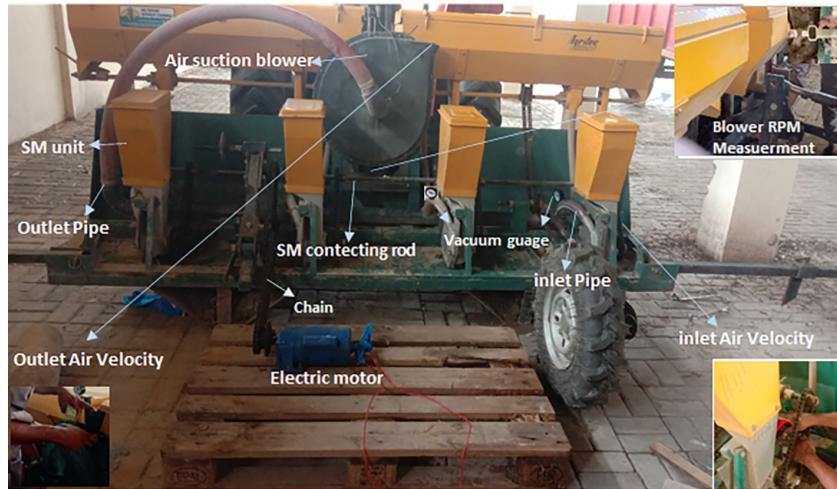


Figure 3. Depiction of laboratory experimental setup to evaluate the series type air distribution system and seed metering (SM) unit

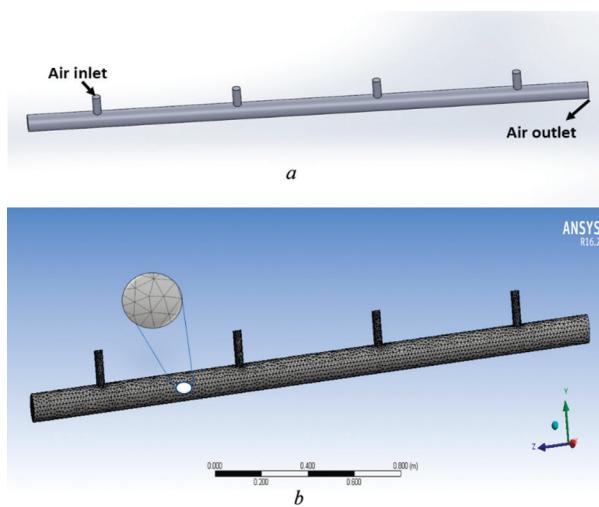


Figure 4. Physical 3D model (a); ANSYS meshing of model (b)

was adjusted -4000 Pa which is the optimum pressure for maize seed sowing with precision maize. Four different inlet air velocity (18, 30, 45, 55 m/s) was selected for simulation. The laboratory findings were used as input in the simulation model to obtain a pressure profile in the series base air distribution pipe, especially with the variation of airflow velocities.

Model Validation. After the mesh validation the next step was the selection of numerical model for the smooth simulation process. The airflow in the precision pneumatic device was determined to be a continuous compressible phase due to the fact that the flow velocity exceeded with the PTO and blower rotation. This study examined the pressure distribution in the pneumatic pipe. Therefore, with the relativity of the Reynolds number in the air suction units the $k - \epsilon$ turbulence model was selected. The base of CFD simulation for the airflow turbulence analysis worked on the following equations (1) and (2) describe as mass and momentum conversation equation or Navier Stokes transport equation [30]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_t}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \text{ standart } k + F_i, \quad (2)$$

the flow domain into control volume. The model was meshed with mesh size 1.2×10^{-3} , transition ratio 0.72, 137 208 elements and 29 662 nodes.

Boundary Baseline and Parameters. The correctness of calculation is strongly relying on the boundary conditions of the conducted study. In this study, the mechanics of boundary conditions involved were the blower revolution, airflow velocity and vacuum pressure. To establish these conditions, the reference pressure utilized was the normal room pressure, also known as static pressure (p_0), which is equivalent to 101 325 Pa (760 mmHg). This pressure applied at each inlet, along with the airflow velocity which obtained from laboratory experiments at 600, 900, 1200, and 1500 rpm of the blower. The inlet pressure 10 135 Pa was selected for simulation whereas outlet pressure

where ρ – fluid density (kg/m^3); t – time (s); x_j – spatial coordinate ($j = 1, 2, 3$ for 3D space); u_i, u_j – velocity component in the j -th direction (m/s); u_t – velocity component (typically time or total velocity); p – pressure (Pa); σ_{ij} – viscous stress tensor components (N/m^2); F_i – body force per unit volume (e.g., gravity, buoyancy) in direction i (N/m^3); standard k – turbulent kinetic energy.

The equation (3) describes determination of the $k - \varepsilon$ turbulence model kinetic energy k and dissipation rate ε :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k, \quad (3)$$

where k – turbulent kinetic energy (TKE) (m^2/s^2); μ – molecular dynamic viscosity (Pa·s or $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$); μ_t – turbulent (eddy) viscosity; σ_k – turbulent Prandtl number for k ; P_k – production of k due to mean velocity gradients; P_b – buoyancy production (or destruction) of turbulent kinetic energy; $\rho \varepsilon$ – dissipation rate of TKE (energy lost due to turbulence); Y_M – contribution of fluctuating dilatation in production of k compressible turbulence to the overall dissipation rate; S_k – user-defined source term (additional sources of k).

Data Analysis. For the data analysis used statistical Software (Statistix 8.1, Tallahassee, FL, USA) for analysis of variance (ANOVA) and (LSD) pairwise evaluation of the collected data for laboratory experiments. The least significant difference (LSD) test was used to segregate treatment outcomes. However, the F-test indicated statistical significance at the 0.05 probability level.

Results and Discussions. Laboratory Experiment Outcomes. Pneumatic maize planter needs to work under suitable and stable air pressure for the precision sowing of seeds. Therefore, the experimental workbench was tested at four blower revolutions to adjust the minimum pressure loss and efficient air velocity profile.

This Figure 5 shows, the loss of pressure at the PU during laboratory experiments. The mean values of the pressure and air velocity loss at four metering units were collected after three repetitions. The statistical analysis of the data shows a significant factor ($p < 0.05$).

The vacuum pressure ($-2.11, -1.78, -0.75$, and -0.24) kPa was observed on U_1, U_2, U_3 at U_4 at BR_1 was 600 rpm. Figure 6 also shows that as the with the increase of the blower speed the vacuum pressure



Figure 5. Pictorial presentation of unit-wise pressure loss in pneumatic units (PU) at selected blower revolutions

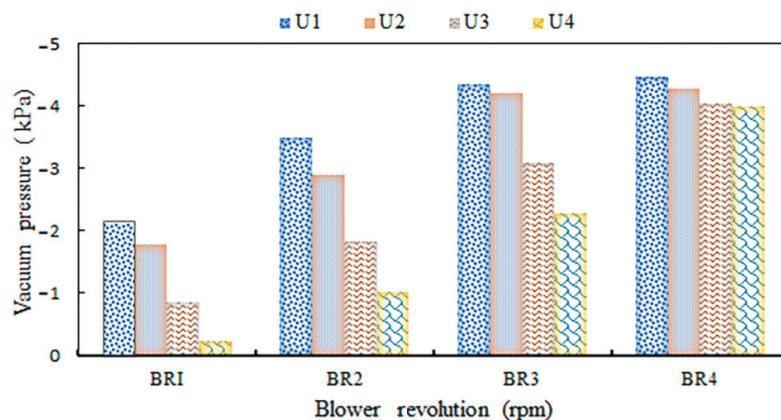


Figure 6. Graphical presentation of unit-wise pressure profile at selected blower rotations

availability also increased such as vacuum pressure was increased on U_4 from -1.02 kPa to -2.28 as the blower revolution increased from 900 (BR₂) to 1200 (BR₃) and similar trend was also observed on other units. However, graph shows that there was minimum pressure variation (-4.45 , -4.27 , -4.03 , and -3.98) kPa on all seed distribution units found at the 1500 rpm (BR₄) of blower revolution as compared to that of other blower speeds. Likewise, during the laboratory experiment found the average pressure variation at whole metering system was -2.8 kPa at BR₁, and -1.7 , -0.5 , -0.2 for BR₂ to BR₄. The findings also revealed that in series type air distribution system reduced the pressure loss with increasing the blower revolution but utilized more the engine power.

It represents the pressure loss in each PU at different blower revolutions. In a series-type air supply system, the pressure drops from unit to unit but was minimum at the unit which was close to the outlet.

Effect on Air Velocity. Figure 7 displays that pressure drops directly relate to the air velocity profile at pneumatic units. In a series type supply system, the air velocity drop at the inlets as far from the suction outlet [5]. Additionally, the air velocity profile describes with the set of multi-color histograms on the graph. The set of extreme left histograms (BR₁) shows that the air velocity dropped from 1.78 m/s at U_1 to 0.68 m/s at U_4 . The air velocity profile at BR₂ was (2.06 , 1.62 , 1.40 , and 1.10) m/s while at BR₃ ranges from (2.49 , 2.36 , 1.96 , and 1.60) m/s from U_1 to U_4 . Furthermore, the depiction of histogram height on the graph shows that at BR₄ found a minimum air velocity drop was (3.2 , 3.16 , 3.10 , and 3.08) m/s which helps to attain the maximum pressure. The height of histogram at the first three blower reevaluations, clarify that at BR₂ and BR₃ the air velocity drop was less as compared to BR₁ that increases the utilization of PTO power. The collective air velocity from each inlet helps out to maintain the -4 kPa pressure which is recommended for maize seed sowing. The collective air outlet velocities at tested blower revolutions were 18 m/s at BR₁, 30 m/s at BR₂, 45 m/s at BR₃ and 55 m/s at BR₄ which used in the CFD analysis.

The graph variations were cleared that the planter attain optimum pressure and air velocity at BR₄ for proper seed picking from the perforated seed disc. The air velocity and vacuum pressure play important role in the precise placing of seed at the adjusted distance and depth [31–33]. However, the histograms of the laboratory experimental data reveled that as like pressure, the air velocity profile was stabilize at BR₄, and gradually decrease from U_2 to U_4 . There should be need to improve the air distribution system to stabilize the air velocity and pressure with minimum utilization of tractor power.

CFD Simulation Analysis. Computational fluid dynamics (CFD) study was conducted to characterize the effect of air distribution geometry on the pressure profile by the feasible model selection and numerical simulation under the different inlet air velocities. Therefore, the measured values of study provide the idealized condition to optimizing of the air distribution geometry.

Figure 8, *a* & *b* represents the CFD simulation of pressure distribution geometry at the 600 and 900 blower rpm. The air velocity at the inlets of simulation model was 18 m/s for BR₁ and 30 m/s for BR₂, with 10.1325 and -4.000 kPa inlet pressure and outlet pressure. The selected air flow velocity was constant in each unit during CFD simulation. The contours of the simulation result show multi-color profile which describe the pressure pattern. These contours pattern of simulation shows that there

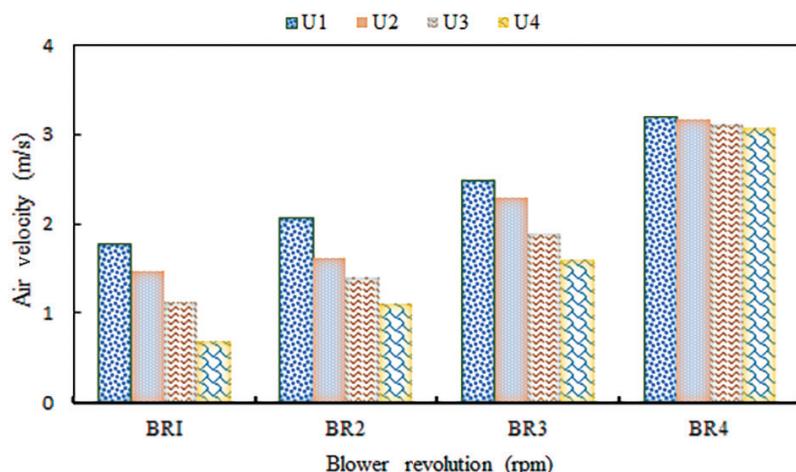


Figure 7. Depiction of unit-wise air velocity profile at selected blower revolutions

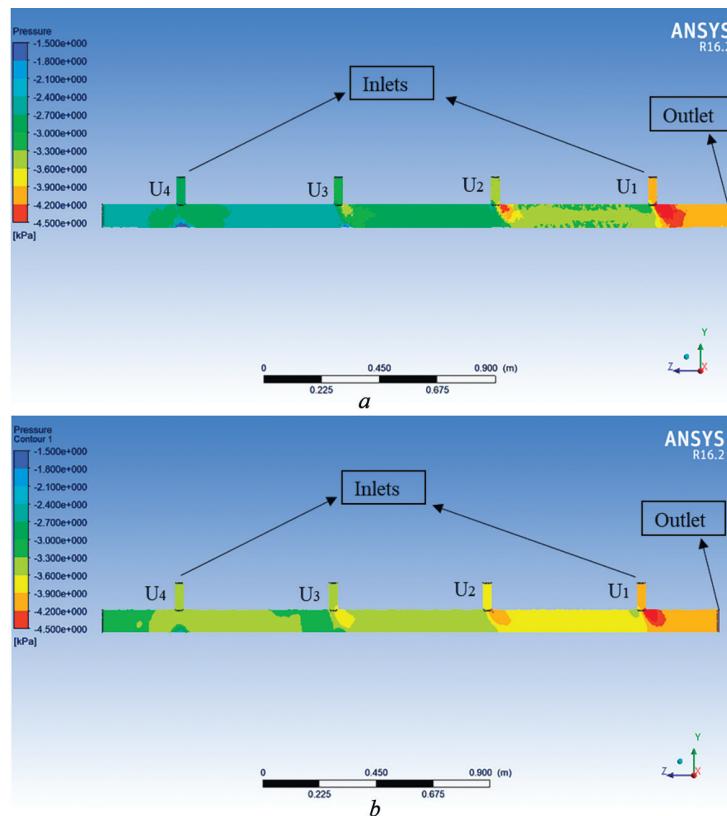


Figure 8. Depiction of pressure distribution profile at 600 blower rpm (a); at 900 blower rpm (b)

is highest pressure loss at 600 rpm of blower revolution. The color gradient of pressure contours in air delivery pipe shows that unit wise drop of pressure had similar trend as the laboratory experiment. The color gradient (legends) in the Figure shows the range of pressure -4.2 to -3.9 (red), -3.9 to -3.3 (yellow), -3.3 to -2.7 (green) and -2.7 to -2.1 (indigo). In the Figure extreme right-side contours with red color represents the inlet which close to the outlet. Likewise, the change of contours color from red to indigo depicted the variation of pressure in the U_2 to U_4 . The pressure contours with multi-color gradient showed that the pressure at the 18 m/s inlet velocity was $(-3.6, -2.95, -2.46, \text{ and } -1.72)$ kPa whereas, at the 30 m/s inlet velocity the pressure was $(-3.84, -3.45, -3.19, \text{ and } -2.81)$ kPa from U_1 to U_4 . From the pressure contours of BR_1 and BR_2 cleared that the pressure drops gradually increase as the inlet away from the outlet. The reason behind that the elongation of air delivery pipe pressure drop was more at unit U_4 due to less air friction [5].

Figure 9, *a* & *b* illustrate the pressure profile at 1 200 and 1 500 blower rpm. The simulations were performed at air inlet velocities of 45 m/s for BR_3 and 55 m/s for BR_4 . In Figure 9, *a* contour had the color range from red to green which shows the -4.2 to -3 kPa pressure range. The color combination of the simulation results depicted that at the 45 m/s air velocity the pressure profile was in between -4.2 to -3.6 kPa in the first three units and -3.6 to -3 kPa between U_3 and U_4 . In Figure 9, *b* represents the distribution of vacuum pressure at 55 m/s air velocity in each unit was between -4.2 to -3.9 kPa with minimum drop. The contour gradients show that the pressure distribution was -4.2 kPa at the U_1 , while $(-3.99, -3.92, \text{ and } -3.91)$ kPa at the U_2 , U_3 , and U_4 . The simulation results conclude that at the 1 500 blower rpm or 55 m/s velocity had a minimum unit wise pressure drop as compare to other three air velocities. The gradients of contours show only red and yellow colors at BR_4 which identify the range -4.2 kPa to -3.91 of pressure. The laboratory outcomes and simulation findings cleared that the minimum pressure drop at 1 500 blower rpm and the planter performs well.

The research studies revealed that at low pressure the 15 to 25 % more missing index was produced due to the detachment of the seed with disc hole [34–36]. Therefore, the air suction blower rpm should avoid to operate in this range of 18 to 30 m/s air velocity or 600–900 rpm blower revolutions to overcome the seed loss.

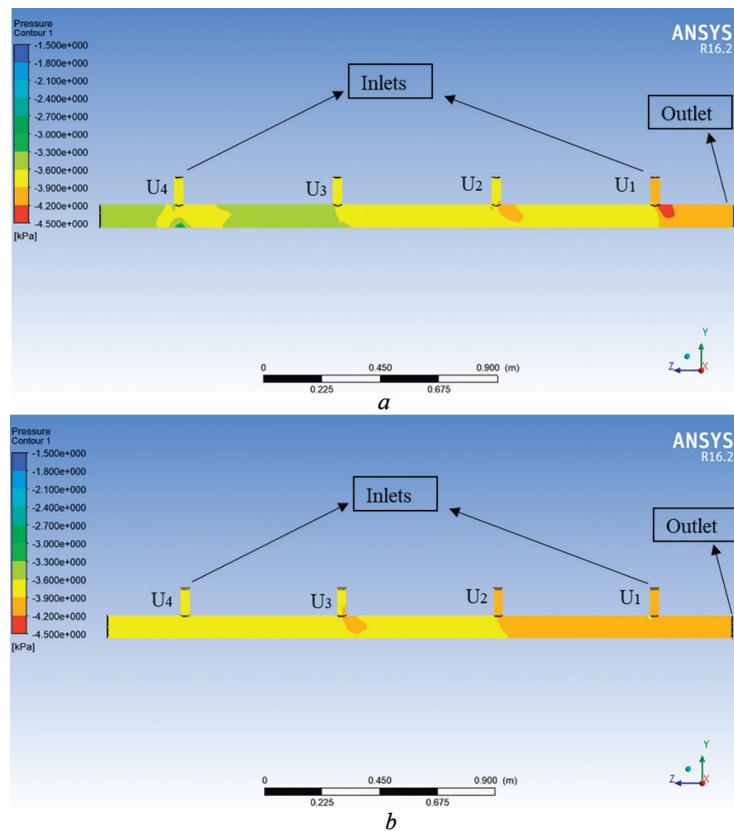


Figure 9. Pressure distribution profile at 1 200 blower rpm (a); at 1 500 blower rpm (b)

Comparative Analysis of CFD and Laboratory Outcomes. Comparative relation between the laboratory and simulation findings is presented in Figure 10. The amber lines with square markers represent simulation results of air delivery mechanism while blue lines with circular markers stands for laboratory results. In the graph, for BR 600, the amber line shows sharp dip and reflects pressure from -4 to -1 kPa while blue line has gentle slope from U_1 to U_2 and compares slope pattern with the amber line. Variation in the gradient of the lines was noticeable for the case of BR 1 200. These variations can be linked with each other at three units (U_1 , U_2 , and U_3) and deviate at U_4 . Furthermore, at the 1 500 BR the both simulation and laboratory experiment outcomes lines were closed. The graphical representation of comparative results suggested that a clear gap between effect of pressure drop at the 600, 900 and 1 200 blower rotation (BR) or 18, 30 and 45 m/s air velocities. The outcomes of both studies revealed that at the 1 500 blower rpm or 55 m/s air velocity, the pressure distribution was stabilized in between -4.2 to -3.9 kPa in each unit. However, this is the efficient condition for maize seed picking and precise placement in the soil.

Comparison of the study pointed that air friction in pipe effected the pressure and air velocity. When the pipe is long, pressure and velocity drop is usually insignificant due to pipe friction. But if the length of the pipe or channel is very short, these so-called minor losses may become major [5, 37]. The experiment and simulation results indicated that the length of the air delivery pipe and inlet connection were two significant parameters that directly affect the pressure and velocity drop.

Effect Studied Parameters on Seed Dropping. The seed dropping profile also evaluates at three disk rotations R_1 , R_2 , and R_3 (17, 22, and 28) rpm which was tested at four blower revolutions 600, 900, 1 200 and 1 500 rpm as previous calculations. Figure 11, shows the graphical representation of the seed dropping profile with respect to weight drop from each unit at selected blower rpm and disc rotations. In the graph, lower black line with blue markers shows the seed dropping at BR_1 , amber dotted line with green square markers stands for the BR_2 , middle green line with red triangular markers represents the BR_3 seed frequency. Further, the top dark blue line with cross square markers depicted the seed dropping at BR_4 which shows the maximum frequency. The seed corporations in Pakistan provide 8–10 kg seed weight per acre for maize crop. According to this the perforated seed disc with 26 holes should

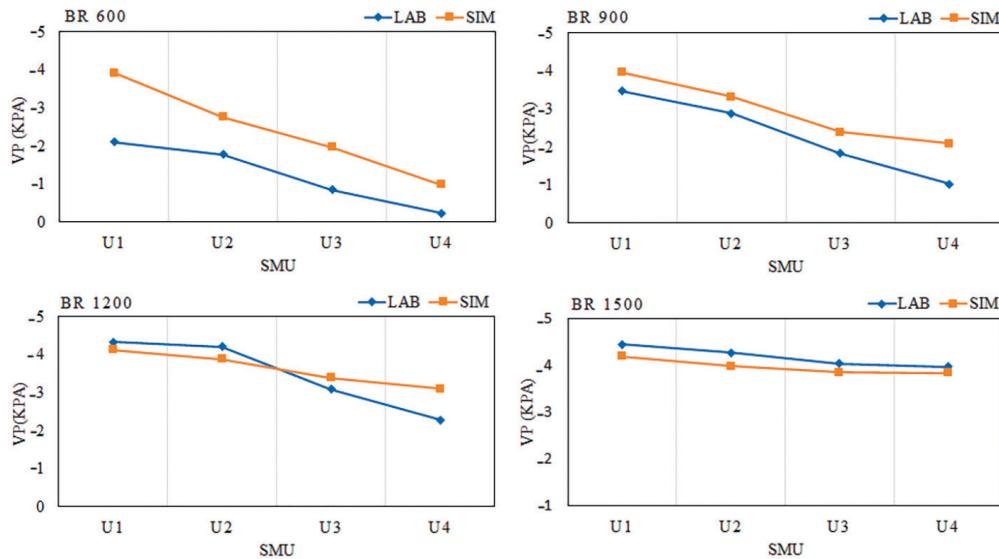


Figure 10. Comparison of laboratory and simulation finding for the validation of study

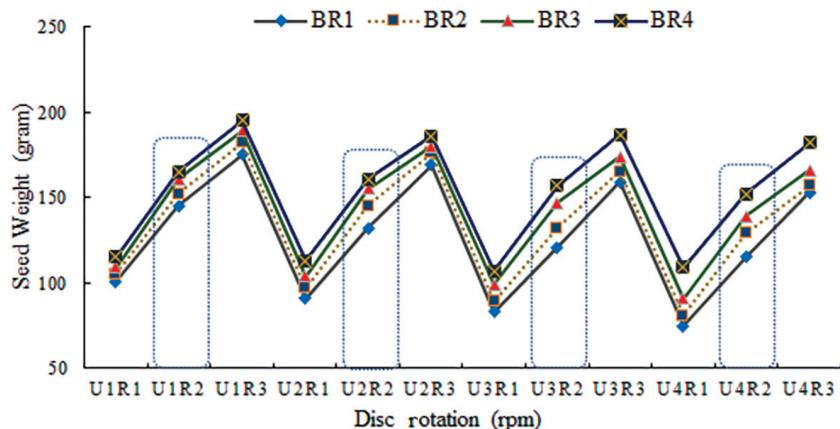


Figure 11. Effect of seed drop with the variation of blower rotation

drop 113 g seed at 17-disc rpm, 168.8 g at 22 and 187.62 at 28 rpm of disc. The colored graphical lines depicted the data which cleared that at 22-disc rpm and 1 500 blower revolution (BR₄) the seed drop equally from each unit (U₁R₂, U₂R₂, U₃R₂, U₄R₂). The graph lines show that at the first unit (U₁) seed dropping rate was near to calculated amount but decrease up to this like with effect of pressure drop. The frequency of seed dropping equalize at BR₄, because of the low pressure drop that was cleared during laboratory and simulation study.

The seed dropping from the unit at the 17 and 28 disc rpm shows more variation as the pressure profile. The blue doted boxes on the graph lines identify the minimum seed loss at R₂ and selected blower revolutions (BR) in seed metering units. This study concluded that in the series types air distribution system the at the 22-disc rpm and 1 500 blower rpm could be an efficient condition to reduce the seed loss in the pneumatic planter.

The reasonable allocation of the airflow system is important to equalize vacuum pressure in precision planters [6, 10, 38]. The importance of the air supply system cannot be ignored during the planter design [39]. The laboratory experiment and simulation results concluded that it is necessary to change the air distribution geometry in parallel, cylindrical end distribution air allotters, and cylindrical circumferential distribution air allotters for the equal distribution of pressure and air velocities [40–43]. The high suction force increases the use of engine power and fuel consumption. The pressure on each unit affects the seed dropping. For the efficient sowing of maize crop the optimum pressure should be round to 4 kPa [17, 44]. The motorized seed metering mechanism control the disc rotation during sowing.

This study concluded that for the series types air distribution system required highest blower revolution (1 500 rpm) which will ultimately require higher power to stabilize the pressure for pneumatic planter and speed placement.

Conclusion. Precision planters are the best option to mechanized the maize sowing, as the air distribution geometry plays vital role on the performance of the pneumatic planter. In this study the optimization of the air distribution system of local pneumatic planter had been performed to investigate the pressure configuration. The laboratory experiments and ANSYS simulation were performed to investigate the planter performance at 600, 900, 1 200, and 1 500 blower rpm. The outcomes of the laboratory and simulation study concluded that at the blower revolution of 600, 900 and 1 200 rpm had a 18, 30 and 45 m/s air velocity create more pressure drop from -3.5 to -1.8 kPa, which badly effect the planter performance. Furthermore, at the 1 500 rpm or 55 m/s air velocity the operating pressure was in between from -4.2 to -3.9 kPa which is recommended for the maize seed sowing. To maintains this pressure, the series air distribution system, utilize more engine power and fuel consumption as high blower revolution. The wheel driven seed mechanism of planter converts into motorized system to control the seed disk rotation at 17, 22, and 28 rpm. The laboratory experimental outcomes found the efficient seed dropping with minimum seed loss at 1 500 rpm of blower and 22 rpm of disc rotation. The experimental data and results of this study provides the research guidelines and design consideration to modify the new pneumatic planting machinery.

References

1. Khan I., Lei H., Khan A., Muhammad I., Javeed T., Khan A., Huo X. Yield gap analysis of major food crops in Pakistan: prospects for food security. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, no. 7, pp. 7994–8011. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11166-4>
2. Ahmad F., Adeel M., Qui B., Ma Jing, Shoaib M., Shakoob A., Chandio F. Ali. Sowing uniformity of bed-type pneumatic maize planter at various seedbed preparation levels and machine travel speeds. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2021, vol. 14, no. 1, pp. 165–171. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.5054>
3. Ji J., Sang Y., He Z., Jin X., Wang S. Designing an intelligent monitoring system for corn seeding by machine vision and Genetic Algorithm-optimized Back Propagation algorithm under precision positioning. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 7, art. e0294884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254544>
4. Sharaby N., Doroshenko A., Butovchenko A., Legkonogih A. A comparative analysis of precision seed planters. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 135, art. 01080. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501080>
5. Yin Xiaowei, Yang Li, Zhang Dongxing, Cui Tao, Han Dandan, Zhang Tianliang, Yu Yiming. Design and experiment of balance and low-loss air allotter in air pressure maize precision planter. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, vol. 32, no. 19, pp. 9–17 (in Chinese). <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.19.002>
6. Liao Yitao, Shu Caixia, Liao Qingxi, Wei Yuepei, Wang Lei, Wang Du, Zheng Juan. Air pressure stabilizing method and experiment of pneumatic seed-metering system of precision rapeseed planter. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, vol. 35, no. 15, pp. 49–56. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2017.15.006>
7. Lei X., Wu W., Chang C., Li T., Zhou Z., Guo J., Zhu P., Hu J., Cheng H., Zhou W., Deng F., Chen Y., Wu Y., Ren W. Seeding performance caused by inclination angle in a centralized seed-metering device for rapeseed. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 5, art. 590. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050590>
8. Guzman L., Chen Y., Landry H. Coupled cfd-dem simulation of seed flow in an air seeder distributor tube. *Processes*, 2020, vol. 8, no. 12, art. 1597. <https://doi.org/10.3390/pr8121597>
9. Lei X., Liao Y., Zhang Q., Wang L., Liao Q. Numerical simulation of seed motion characteristics of distribution head for rapeseed and wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, vol. 150, pp. 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.009>
10. Ibrahim E. J., Liao Q., Wang L., Liao Y., Yao L. Design and experiment of multi-row pneumatic precision metering device for rapeseed. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, vol. 11, no. 5, pp. 116–123. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.3544>
11. Gupta P., Kapuriya Rohitkumar L., Yadav R. Tractor air intake pressure use in pneumatic planter. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 2017, vol. 2, no. 4, pp. 1–5.
12. Han D., Zhang D., Jing H., Yang L., Cui T., Ding Y., Wang Z., Wang Y., Zhang T. DEM-CFD coupling simulation and optimization of an inside-filling air-blowing maize precision seed-metering device. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, vol. 150, pp. 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.006>
13. Joubert E. C., Harms T. M., Muller A., Hipondoka M., Henschel J. R. A CFD study of wind patterns over a desert dune and the effect on seed dispersion. *Environmental Fluid Mechanics*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 23–44. <https://doi.org/10.1007/s10652-011-9230-3>

14. Zhang Z., Chen J., Li Y., Guan Z., Liao C., Qiao X. Design and experiment on the air-blowing and vibrating supply seed tray for precision seeders. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2022, vol. 15, no. 3, pp. 115–121. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221503.6873>

15. Abdulkadir T. D., Mahadi M. R., Wayayok A., Kassim M. S. M. Optimization of vacuum manifold design for seeding of SRI seedling tray. *Cogent Engineering*, 2019, vol. 6, no. 1, art. 1681245. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1681245>

16. Yazgi A., Demir V., Değirmencioğlu A. Comparison of computational fluid dynamics-based simulations and visualized seed trajectories in different seed tubes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2020, vol. 44, no. 6, pp. 599–611. <https://doi.org/10.3906/tar-1910-15>

17. Alipour N., Shahgholi G., Jahanbakhshi A. Evaluation and comparison and the performance of pressurized and vacuum cylindrical distributors in soybean cultivation. *Results Engineering*, 2022, vol. 16, art. 100546. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100546>

18. Li Z., Zhang H., Xie R., Gu X., Du J., Chen Y. Evaluation on the performance of airflow distribution device of pneumatic seeder for rapeseed through CFD simulations. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 11, art. 1781. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111781>

19. Dai Yizheng, Luo Xiwen, Wang Zaiman, Zeng Shan, Zang Ying, Yang Wenwu, Zhang Minghua, Wang Baolong, Xing He. Design and experiment of rice pneumatic centralized seed distributor. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, vol. 32, no. 24, pp. 36–42 (in Chinese). <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.24.005>

20. Ghafori H., Sharifi M. Numerical and experimental study of an innovative design of elbow in the pipe line of a pneumatic conveying system. *Powder Technology*, 2018, vol. 331, pp. 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.03.022>

21. Wang Y., Li H., Hu H., He J., Wang Q., Lu C., Liu P., He D., Lin X. DEM – CFD coupling simulation and optimization of a self-suction wheat shooting device. *Powder Technology*, 2021, vol. 393, pp. 494–509. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.013>

22. Li H., Liu H., Zhou J., Wei G., Shi S., Zhang X., Zhang R., Zhu H., He T. Development and first results of a no-till pneumatic seeder for maize precise sowing in huang-huai-hai plain of China. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 10, art. 1023. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101023>

23. Yatskul A., Lemiere J.-P., Cointault F. Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seed's distribution accuracy of the air-seeder. *Biosystems Engineering*, 2017, vol. 161, pp. 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.015>

24. Mudarisov S., Badretdinov I., Rakhimov Z., Lukmanov R., Nurullin E. Numerical simulation of two-phase 'Air-Seed' flow in the distribution system of the grain seeder. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, vol. 168, art. 105151. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105151>

25. Wang W., Wu K., Zhang Y., Wang M., Zhang C., Chen L. The development of an electric-driven control system for a high-speed precision planter based on the double closed-loop fuzzy PID algorithm. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 4, art. 945. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040945>

26. Cay A., Kocabiyik H., May S. Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part II: Field performance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, vol. 145, pp. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.021>

27. Yasir S. H., Liao Q., Yu J., He D. Design and test of a pneumatic precision metering device for wheat. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2012, vol. 14, no. 1, pp. 16–25.

28. Verma A., Sahu M., Soni G., Pradhan P. Optimization of operational parameters of a pneumatic planter for sunflower seed. *Agricultural Engineering Today*, 2018, vol. 42, no. 1, pp. 38–45.

29. Jiang J., Liu C., Yu B. Modeling and simulation for pressure character of the plate-inclined axial piston type hydraulic transformer. *The 2010 IEEE International Conference on Information and Automation: conference proceedings, June 20–23, 2010, Harbin, Heilongjiang, China*. Piscataway, 2010, pp. 245–249. <https://doi.org/10.1109/ICINFA.2010.5512171>

30. Ismail I., John J., Pane E. A., Suyitno B. M., Rahayu G. H. N. N., Rhakasywi D., Suwandi A. Computational fluid dynamics simulation of the turbulence models in the tested section on wind tunnel. *Ain Shams Engineering Journal*, 2020, vol. 11, no. 4, pp. 1201–1209. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.012>

31. Ren C., Lai Q. H., Zhang Z. G., Gao X. J., Wang Z. Y., Li Y. Y. Internal flow field analysis of air-suction roller-type precision metering device. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 620, pp. 84–88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.620.84>

32. Chang J., Zhang X. Design and test of one-step centralized type pneumatic seeding system. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, vol. 27, no. 1, pp. 136–141 (in Chinese).

33. Lai Q., Ma W., Liu S., Su W., Zhang Z. Simulation and experiment on seed-filling performance of pneumatic disc seed-metering device for mini-tuber. *Nongye Jixie Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2017, vol. 48, no. 5, pp. 44–53 (in Chinese). <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.005>

34. Lu B., Ni X., Li S., Li K., Qi Q. Simulation and experimental study of a split high-speed precision seeding system. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 7, art. 1037. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071037>

35. Rubio Scola I., Rossi S., Bourges G. Air drill seeder distributor head evaluation: a comparison between laboratory tests and computational fluid dynamics simulations. *Information and communication technologies for agriculture – Theme II: Data. Springer optimization and its applications*, vol. 183. Cham, 2022, pp. 189–205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84148-5_8

36. Li Y., Liu Y., Liu L. Distribution mechanism of airflow in seed tube of different lengths in pneumatic seeder. *Nongye Jixie Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2020, vol. 51, no. 6, pp. 55–64 (in Chinese). <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2020.06.006>

37. Qin J., Zhang X., Jiang Z. Design and calculation of the allotter in the central-type drill system. *Nongye Zhuangbei Jishu = Agricultural Equipment & Technology*, 2004, vol. 30, no. 6, pp. 37–38 (in Chinese).

38. Li L., Zhu D., Zhang S., Wen S., Jiang R., Wu L. Design and experiment of slider-hole-wheel precision hill-direct-seeding metering device for rice. *Zhejiang Nongye Xuebao = Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, vol. 30, no. 12, pp. 2153–2160 (in Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1524.2018.07.22>

39. Li X., Liao Q., Yu J., Shu C., Liao Y. Dynamic analysis and simulation on sucking process of pneumatic precision metering device for rapeseed. *Journal of Agriculture, Food and Environment*, 2012, vol. 10, no. 1, pp. 450–454.

40. Shi Song, Zhang Dongxing, Yang Li, Cui Tao, Zhang Rui, Yin Xiaowei. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, vol. 30, no. 5, pp. 10–18 (in Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.05.002>

41. Shi S., Zhang D., Yang L., Cui T., Li K., Yin X.. Simulation and verification of seed-filling performance of pneumatic-combined holes maize precision seed-metering device based on EDEM. *Nongye Gongcheng Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, vol. 31, no. 3, pp. 62–69 (in Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2015.03.009>

42. Gong Z., Chen J., Li Y., Li J. Seed force in airflow field of vacuum tray precision seeder device during suction process of seeds. *Nongye Jixie Xuebao = Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2014, vol. 45, no. 6, pp. 92–97, 117 (in Chinese). <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.015>

43. Yasir S. H., Liao Q. Simulation of negative pressure behavior using different shapes and positions of pressure inlet and seed hole diameters using ANSYS-CFX to optimize the structure of a pneumatic metering device designed for wheat. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 122–134.

44. Karayel D., Barut Z. B., Özmerzi A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering*, 2004, vol. 87, no. 4, pp. 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.011>

Information about the authors

Aftab Khalil – M. Sc. (Agricultural Engineering), Scientific Officer, Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council (44000, Islamabad, Pakistan). <https://orcid.org/0009-0005-4572-8868>. E-mail: aftabkhalil123@gmail.com

Fiaz Ahmad – Ph. D. (Agricultural Bioenvironmental and Energy Engineering), Professor of the Department of Agricultural Engineering, Bahauddin Zakariya University (Multan, 60000, Pakistan). <https://orcid.org/0000-0002-3304-8663>. E-mail: fiazahmad@bzu.edu.pk

Ibrar Ahmad – Ph. D. Scholar, 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

Muhammad Awais – M. Sc. (Agricultural Engineering), Department of Agricultural Engineering, Bahauddin Zakariya University (Multan, 60000, Pakistan). <https://orcid.org/0009-0006-5987-1259>. E-mail: m.awaispk@outlook.com

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

Muhammad Mohsin Ali – M. Sc. (Agricultural Engineering), Senior Scientific Officer, Agricultural Engineering Institute, Pakistan Agricultural Research Council (44000, Islamabad, Pakistan). <https://orcid.org/0009-0005-4251-0695>. E-mail: mohsinali.mahr@gmail.com

Nadeem Zubair – M. Sc. (Mechanical Engineering), School of Mechanical Engineering, Jiamusi University (258, Xuefu St., Jiamusi City, Xiangyang District, Heilongjiang Province, China). <https://orcid.org/0009-0002-2641-8969>. E-mail: nadeemzubair6080@gmail.com

Информация об авторах

Афтааб Халик – магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Институт механизации сельского хозяйства, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана (44000, Исламабад, Пакистан). <https://orcid.org/0009-0005-4572-8868>. E-mail: aftabkhalil123@gmail.com

Фаиз Ахмад – кандидат наук (сельскохозяйственная биоэкологическая и энергетическая инженерия), профессор кафедры механизации сельского хозяйства, Университет Бахауддина Закарии (Мултан, 60000, Пакистан). <https://orcid.org/0000-0002-3304-8663>. E-mail: fiazahmad@bzu.edu.pk

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

Мухаммад Аваис – магистр сельскохозяйственных наук, кафедра механизации сельского хозяйства, Университет Бахауддина Закарии (Мултан, 60000, Пакистан). <https://orcid.org/0009-0006-5987-1259>. E-mail: m.awaispk@outlook.com

Хафиз Султан Махмуд – кандидат наук (сельскохозяйственное машиностроение и точное земледелие), главный научный сотрудник, Институт механизации сельского хозяйства, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана (44000, Исламабад, Пакистан). <https://orcid.org/0000-0002-2715-9666>. E-mail: sultan_fmi@hotmail.com

Мухаммад Мухсин Али – магистр сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт механизации сельского хозяйства, Совет сельскохозяйственных исследований Пакистана (44000, Исламабад, Пакистан). <https://orcid.org/0009-0005-4251-0695>. E-mail: mohsinali.mahr@gmail.com

Надим Зубайр – магистр наук (машиностроение), Школа машиностроения, Университет Цзямыси (258, ул. Сюэфу, город Цзямыси, район Сянъян, провинция Хэйлунцзян, Китай). <https://orcid.org/0009-0002-2641-8969>. E-mail: nadeemzubair6080@gmail.com