

ВЕСЦІ

НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2025. Т. 63, № 3

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2025. Т. 63, № 3

Журнал основан в январе 1963 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

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

Главный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

В. В. Азаренко – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
(заместитель главного редактора)
Е. Ф. Борисова (ведущий редактор)

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

С. А. Касьянчик – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
Д. И. Комлach – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь

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

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

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

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

В. Л. Маханько – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству
и плодовоощеводству, 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. Растворгувеў – 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. Гавардашили – 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 докторантурных исследований,
включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

Адрес редакции:

ул. Академическая, 1, к. 118, 220072, г. Минск, Республика Беларусь.

Тел.: +375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru

vestiagr.belnauka.by

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.

Серия аграрных наук. 2025. Т. 63, № 3

Выходит на русском, белорусском и английском языках

Редактор Е. Ф. Борисова

Компьютерная верстка Н. И. Кащуба

Подписано в печать 16.07.2025. Выход в свет 28.07.2025. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 54 экз. Заказ 147.

Цена номера: индивидуальная подписка – 15,16 руб., ведомственная подписка – 34,53 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука».

Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных наукаў, 2025

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

AGRARIAN SERIES, 2025, vol. 63, no. 3

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. Likhatevich – 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 Stanyš – Lithuanian Research Center for Agriculture and Forestry, Kėdainiai District, Lithuania

Nikolay I. Strekozov – Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst,
Dubrovitsy, Russia

Wu Xing-Hong – Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, China

Ivan G. Ushachev – Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas –
All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Ivan P. Sheyko – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding,
Zhodino, Belarus

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

Address of the Editorial Office:

1, room 118, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus.

Tel.: + 375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru.

vestiagr.belnauka.by

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.

Agrarian series, 2025, vol. 63, no. 3

Printed in Russian, Belarusian and English

Editor E. F. Borisova

Computer imposition N. I. Kashuba

It is sent of the press 16.07.2025. Appearance 28.07.2025. Format 60×84 1/8. Offset paper. The press digital.

Printed pages 10,23. Publisher's signatures 11,3. Circulation 54 copies. Order 147.

Number price: individual subscription – 15,16 byn., departmental subscription – 34,53 byn.

Publisher and printing execution:

Republican unitary enterprise “Publishing House “Belaruskaya Navuka”

Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printing editions No. 1/18 dated August 2,
2013. License for the press No. 02330/455 dated December 30, 2013. Address: 40, F. Skaryna St., 220084, Minsk,
Republic of Belarus

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

ЗМЕСТ

ЭКАНОМИКА

- Кондратенко С. А., Котковец Н. Н. Стратегические направления и механизмы устойчивого развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь 183

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

- Колбанова Е. В., Кухарчик Н. В., Божидай Т. Н. Оптимизация этапа микроразмножения *in vitro* сортов груши, районированных в Беларуси 204
Кунина В. А., Платонова Н. Б., Кунин Д. В. Сортовая реакция плодов сливы русской на длительное холодовое хранение 219

МЕХАНІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

- Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Хазанов В. Е., Гордеева Т. И., Миронов В. Н. Структурная схема управления технологическим процессом уборки, удаления и переработки навоза 235

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫ

- Альшевская М. Н., Альшевский Д. Л., Мастиогин Ю. В., Карнеева Ф. С., Бедо Е. П. Комплексная оценка пищевой ценности бобра обыкновенного (*Castor fiber*), обитающего в Калининградском регионе Российской Федерации (на английском языке) 243
Никифорова А. П., Позняковский В. М. Бактериальная закваска *Latilactobacillus sakei* на основе растительных компонентов 253

CONTENTS

ECONOMICS

Kondratenko S. A., Kotkovets N. N. Strategic directions and mechanisms of sustainable development of the agro-industrial complex of the Republic of Belarus.....	183
---	-----

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

Kolbanova E. V., Kukharchyk N. V., Bazhydai T. N. Optimization of <i>in vitro</i> micropropagation stage of pear varieties regionalized in Belarus	204
---	-----

Kunina V. A., Platonova N. B., Kunin D. V. Varietal response of Russian plum fruits to long-term cold storage.....	219
---	-----

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Khazanov V. E., Gordeeva T. I., Mironov V. N. Block diagram of technological process control for manure cleaning, removal and processing.....	235
--	-----

PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Alshevskaya M. N., Alshevskiy D. L., Mastyugin Yu. V., Karneeva F. S., Bedo E. P. Comprehensive assessment of nutritional value of a common beaver (<i>Castor fiber</i>) inhabiting the Kaliningrad region of the Russian Federation	243
---	-----

Nikiforova A. P., Poznyakovsky V. M. Plant-based bacterial starter culture <i>Latilactobacillus sakei</i>	253
--	-----

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

ЭКАНОМИКА
ECONOMICS

УДК 338.43.02(476)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-183-203>

Поступила в редакцию 29.05.2025
Received 29.05.2025

С. А. Кондратенко, Н. Н. Котковец

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

**СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕХАНИЗМЫ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Выявлены тенденции и закономерности развития агропромышленного производства в современных условиях (трансформация международных производственно-сбытовых цепочек, определяющее значение научно-технического потенциала АПК и доступности технологий, конкурентоспособность многоотраслевых крупнотоварных структур), которые подтверждают наличие для Беларуси новых возможностей в части наращивания экспортного потенциала на мировом рынке продовольствия. Установлено, что основной акцент в государственной аграрной политике должен быть сделан на обеспечении приоритетной направленности научно-технического и инновационного развития, формировании стратегических конкурентных преимуществ. В данной связи обоснованы стратегические направления устойчивого развития агропромышленного комплекса, в том числе: повышение эффективности производства, модернизация инфраструктуры и логистики, расширение рынков сбыта продукции и диверсификация, использование современных цифровых технологий и интеллектуальных систем управления бизнес-процессами, эффективная государственная поддержка и регулирование, укрепление кадрового потенциала АПК. Представлена функциональная модель механизма государственного регулирования устойчивого развития агропромышленного производства, которая базируется на использовании стимулирующих инструментов (программное планирование, регулирование сбалансированности, управление, мотивация и контроль) и обеспечивает государственно-частное партнерство в развитии производственной и социальной инфраструктуры. В целях всесторонней и комплексной оценки результативности деятельности сельхозпроизводителей предложена методика, позволяющая обеспечить дополнительные меры поддержки и стимулирования, мониторинг ситуации на предприятиях.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, продовольственная безопасность, стратегия, задачи, механизмы, мониторинг, производственный потенциал, эффективность, конкурентоспособность, экономический механизм, инвестиции, ценообразование, мотивация труда

Для цитирования: Кондратенко, С. А. Стратегические направления и механизмы устойчивого развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь / С. А. Кондратенко, Н. Н. Котковец // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных наукаў. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 183–203. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-183-203>

Svetlana A. Kondratenko, Nadezhda N. Kotkovets

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

**STRATEGIC DIRECTIONS AND MECHANISMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. The trends and patterns of development of agro-industrial production in modern conditions (transformation of international production and distribution chains, decisive importance of the scientific and technical potential of the agro-industrial complex and availability of technologies, and competitiveness of multi-sector large-scale commodity structures) have been identified, which confirm availability of new opportunities for Belarus in terms of increasing the export potential in the

global food market. It has been determined that the main emphasis in the state agrarian policy should be placed on ensuring the priority direction of scientific, technical and innovative development, as well as creation of strategic competitive advantages. In this regard, the strategic directions of sustainable development of the agro-industrial complex are substantiated, including, among others: increasing production efficiency, modernizing infrastructure and logistics, expanding product sales markets and diversification, using modern digital technologies and intelligent business process management systems, effective state support and regulation, strengthening the human resources potential of the agro-industrial complex. The functional model of the mechanism of state regulation of sustainable development of agro-industrial production is presented, which is based on the use of incentive tools (program planning, balance regulation, management, motivation and control) and ensures public-private partnership in development of production and social infrastructure. For the purpose of a comprehensive and integrated assessment of the performance of agricultural producers, a methodology is proposed that allows for additional support and incentive measures, and monitoring of situation at an enterprise.

Keywords: agro-industrial complex, food security, strategy, tasks, mechanisms, monitoring, production potential, efficiency, competitiveness, economic mechanism, investments, pricing, labor motivation

For citation: Kondratenko S. A., Kotkovets N. N. Strategic directions and mechanisms of sustainable development of the agro-industrial complex 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*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 183–203 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-183-203>

Введение. Стабильное обеспечение продовольственной безопасности является одним из ключевых приоритетов государственной социально-экономической и аграрной политики Республики Беларусь [1]. Делая ставку на развитие собственного сельского хозяйства, пищевой промышленности, сельхозмашиностроения, аграрной науки, наша страна не только приобретает независимость от влияния конъюнктуры мировых рынков и других внешних факторов, но и гарантирует высокие жизненные стандарты населению – доступность качественного продовольствия для здорового питания, развитие села [2–4].

Стратегически верный курс, принятый Главой государства в годы становления независимости республики, а также ряд последующих важнейших решений, направленных на масштабную модернизацию, укрепление материально-технической базы высокопроизводительной сельскохозяйственной техникой и оборудованием, выстраивание современной социальной инфраструктуры, всестороннее научное обеспечение аграрной отрасли, позволяют сегодня уверенно оценивать наши значительные конкурентные перспективы на мировом рынке продовольствия. Президент Республики Беларусь на совещании в Шкловском районе 9 августа 2024 г. четко обозначил открывающиеся перед отечественным АПК возможности и рынки. «Спрос на продовольствие в мире только растет. То есть это дает хорошую прибыль. В Беларуси есть необходимая школа и база, включая производство сельхозтехники», – отметил А. Г. Лукашенко. Глава государства также подчеркнул: «Сельское хозяйство – это развитие, имидж нашей страны» [5].

Анализ показал, что уникальная белорусская модель продовольственной безопасности доказала свою эффективность в условиях глобальной нестабильности, пандемии, влияния санкций и ограничений. Многие страны мира признали, что безопасность в этой важнейшей сфере жизни государства может основываться только на сильном собственном агропромышленном секторе и грамотном регулировании рынка. Опыт нашей страны сегодня детально анализируется и используется партнерами по Евразийскому экономическому союзу (ЕАЭС), СНГ, странами Африки и Азии.

Особым преимуществом является четко выстроенная система целей, задач, мониторинга и государственного регулирования в агропродовольственной сфере. Они определены в Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. Национальной академией наук Беларусь ежегодно выполняется мониторинг по специально разработанному перечню индикаторов (их более 300). Анализируется состояние физической и экономической доступности продовольствия, уровень и качество рациона в разрезе категорий населения (например, семей в сельской местности, семей с детьми, которым требуется специализированное питание); информированность по вопросам питания. Особое внимание уделяется оценке ресурсной обеспеченности расширенного воспроизводства продовольствия на региональном уровне, в том числе: состоянию материально-технической базы и кадрового потенциала сельского хозяйства, стабильной загрузке мощностей, инновационной активности товаропроизводителей. Прогнозируется возможное влияние глобальных тенденций и рисков, связанных с волатильно-

стью ценовой конъюнктуры мирового рынка, появлением новых торговых барьеров и ограничений [4]. Результаты мониторинга направляются в Совет Министров Республики Беларусь и другие госорганы для принятия решений.

Данные свидетельствуют, что 30 лет назад на повестке дня вопрос продовольственной безопасности государства стоял крайне остро. Предстояло преодолеть зависимость от импорта продовольствия, стабилизировать ресурсный потенциал и экономику сельского хозяйства, обеспечить доступность продуктов питания для населения. По поручению Президента страны в 2003 г. Национальной академией наук Беларуси была оперативно подготовлена Концепция национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь, которая определила фундаментальные принципы и параметры самообеспечения основными видами продукции с учетом потребности внутреннего рынка и формирования экспортного потенциала АПК [1, 4].

В основу решения поставленных задач был положен грамотный программный подход, когда комплекс социально-экономических, организационно-хозяйственных, правовых, научных мероприятий увязан с ресурсами, конкретными сроками и исполнителями, при этом в едином документе закрепляется механизм государственной поддержки и инвестирования по стратегическим направлениям развития села и аграрного производства. В Программе совершенствования агропромышленного комплекса Республики Беларусь на 2001–2005 годы, уникальной по масштабу социальной значимости Государственной программе возрождения и развития села на 2005–2010 годы, а также в действующей Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы указанный подход успешно реализован. За анализируемый период десятки тысяч различных видов сельскохозяйственных машин и оборудования были поставлены в сельхозорганизации, в целях повышения конкурентоспособности животноводства основные объемы производства сконцентрированы на крупных комплексах, фермах и птицефабриках. Также была проведена реконструкция молочно-товарных ферм с внедрением систем идентификации, автоматизированного зоотехнического и ветеринарного учета, энергосберегающих систем содержания животных.

Результативность принятых мер подтверждают достигнутые показатели развития АПК. Так, по итогам 2024 г. по сравнению с 2005 г. производство зерна в республике увеличилось в 1,3 раза, сахарной свеклы – в 1,6 раза, молока – в 1,5 раза, скота и птицы на убой – в 1,8 раза, яиц – в 1,2 раза.

Уровень производства основных видов сельскохозяйственной продукции в расчете на одного жителя в год существенно превышает показатели наших партнеров по Евразийскому экономическому союзу. Так, в республике в 2024 г. произведено 913 кг зерна (в весе после доработки), что на 42 кг больше, чем в среднем по ЕАЭС, сахарной свеклы – 542 (больше на 260 кг), молока – 958 (в 3,6 раза), скота и птицы реализуется на убой – 139 (в 1,7 раза), овощей – 304 (в 2,5 раза), картофеля – 341 (в 2,5 раза), плодов и ягод – 78 кг (на 47 кг), яиц – 407 шт. (больше на 104 шт.).

Фактически, наращивая потенциал агропромышленного производства, наша страна не только успешно решает свою продовольственную проблему, но и вносит весомый вклад в обеспечение продовольственной безопасности в евразийском регионе и во всем мире.

С учетом изложенного основная задача на современном этапе – сохранить и приумножить созданный за десятилетия потенциал, обеспечить улучшение благосостояния тружеников и жителей села, ежегодно прирастать в производительности аграрного сектора, создавать новые конкурентоспособные производства и товары. Важно продолжить работу по созданию отечественных технологий для сельского хозяйства, которые позволят обеспечить необходимую независимость в развитии аграрной отрасли. Укрепление научно-технического потенциала – это требование времени и вместе с тем возможность для отечественного АПК занять сильные конкурентные позиции.

Исследования подтверждают, что в современных условиях особую актуальность имеет разработка новых теоретических и практических подходов формирования и развития эффективного, конкурентоспособного, стабильного и экологически безопасного производства продукции на основе использования ресурсосберегающих технологий и национальной специализации, развитие международного сотрудничества и научно-производственной кооперации.

Различные аспекты проблемы формирования эффективного организационно-экономического механизма функционирования агропромышленного производства нашли отражение в публикациях белорусских и зарубежных ученых-экономистов – В. Г. Гусакова [6], А. В. Пилипчука, Е. В. Гусакова [7, 8, 12], Г. И. Гануша [9], В. И. Бельского [10], Н. В. Киреенко [11], А. С. Сайганова [12], А. П. Шпака [13], И. Н. Буздалова [14], И. Г. Ушачева [15] и др. Вместе с тем, несмотря на имеющийся научный задел, в современных условиях актуальна разработка и использование новых эффективных инструментов и методов регулирования производства, внедрение рыночных форм организации и управления в отрасли, в том числе в рамках новой формы организации бизнеса – посредством формирования высокоэффективных сырьевых зон. Особую актуальность имеют теоретические, методические и практические разработки, которые позволяют максимально ориентировать отечественных товаропроизводителей на реализацию резервов повышения эффективности и наращивание объемов производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в соответствии с целевыми параметрами продовольственной безопасности.

Тенденции и закономерности развития мирового рынка продовольствия. Выявлены следующие тенденции развития мирового рынка [16–21], которые имеют ключевое значение для обеспечения продовольственной безопасности и реализации конкурентного потенциала экспортно ориентированного агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

1. *Ситуация с продовольственной безопасностью в мире остается сложной.* По данным ФАО, в связи с вооруженными конфликтами, экономической нестабильностью, влиянием экстремальных погодных условий в 2023 г. жители 59 стран мира (почти 282 млн человек) столкнулись с острым голодом и не имели возможности нормально осуществлять сельскохозяйственное производство¹. Общее число недоедающего и голодящего населения в мире составило 733 млн чел., т. е. на 152 млн человек больше, чем в 2019 г.

На фоне продолжающегося роста масштабов глобальной продовольственной проблемы приходится констатировать появление на мировом рынке новых барьеров для доступа к аграрным ресурсам и технологиям, что не позволяет достичь необходимого роста производства сельскохозяйственной продукции. В будущем это может привести к формированию дефицита продовольствия в мире и усилению конкуренции за доступ к качественному сельскохозяйственному сырью.

2. *Изменяется структура мирового производства и торговли основными видами продукции.* За последние 20 лет мировая доля стран – членов Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в производстве зерновых, масличных культур, молока, мяса и сахара снизилась в среднем примерно на 7 п. п., в том числе на рынке молока – с 51 до 41 %. Китай увеличивает производство основных продуктов с ориентацией на удовлетворение растущей потребности внутреннего рынка и формирование значительных резервов. Так, за анализируемый период доля Китая в производстве молочных продуктов увеличилась на 0,2 п. п., доля в экспорте снизилась на 0,04 п. п., зерновых – плюс 2,4 п. п. и минус 5,5 п. п., масличных и продуктов их переработки – минус 1,8 п. п. и минус 0,9 п. п. соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Структура мирового производства и экспорта по регионам мира, %

Table 1. Structure of world production and export by regions of the world, %

Показатель	ОЭСР		Восточная Европа		Китай		Индия		Африка	
	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.
<i>Зерновые</i>										
Производство	40,40	33,40	8,20	9,00	17,90	20,30	9,90	10,40	6,00	7,00
Экспорт	60,80	40,90	9,80	22,40	6,00	0,50	3,50	5,90	1,60	1,50
<i>Мясо</i>										
Производство	38,90	33,50	3,50	9,60	14,10	10,00	5,80	5,90	2,90	2,80

¹ Global Report on Food Crises 2023. URL: <https://www.fsinplatform.org/global-report-food-crises-2023>.

Окончание табл. 1

Показатель	ОЭСР		Восточная Европа		Китай		Индия		Африка	
	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.	2001–2003 гг.	2021–2023 гг.
<i>Сахар</i>										
Производство	51,20	41,00	11,60	8,60	2,50	4,50	14,20	23,40	5,70	5,20
Экспорт	25,40	10,10	2,90	2,30	0,50	0,20	2,40	11,90	8,30	7,80
<i>Молочные продукты</i>										
Производство	44,20	37,40	3,90	5,40	26,10	26,30	1,70	2,60	4,80	5,50
Экспорт	84,00	72,10	4,10	7,40	0,50	0,10	0,30	0,50	0,80	1,30
<i>Масличные и продукты их переработки</i>										
Производство	29,70	22,30	3,20	5,00	7,10	5,30	14,90	18,80	7,10	6,10
Экспорт	29,50	27,50	2,00	8,40	1,40	0,50	2,10	1,10	0,70	1,10

Источник: OECD – FAO Agricultural Outlook 2024–2033.

Source: OECD – FAO Agricultural Outlook 2024–2033.

3. Уровень мировых цен на продовольствие остается нестабильным и сопровождается усилением конкуренции за доступ к качественному сельскохозяйственному сырью. Так, среднее значение индекса продовольственных цен ФАО в апреле 2025 г. составило 128,3 п. п., что на 7,6 % выше соответствующего показателя прошлого года, в том числе прирост показателя по растительным маслам составил 20,7 %, мясу – 5,4, молочной продукции – 22,4 %. Активный рост цен вызван увеличением глобального импортного спроса на фоне сокращения предложения продукции основными экспортёрами, значительным влиянием неблагоприятных климатических изменений на производство товарных и фуражных культур, ростом затрат переработчиков сырья на энергоносители, покупные материалы и ингредиенты. В настоящее время рыночная конъюнктура является благоприятной для товаропроизводителей. Вместе с тем, с учетом ее цикличности, в периоды низких экспортных цен сельхозпроизводители недополучают прибыль и в некоторых случаях не могут обеспечить окупаемость затрат. Важнейшее значение имеет наличие на государственном уровне эффективных механизмов регулирования аграрной отрасли, которые позволяют не допустить снижения производственного потенциала АПК.

4. Объем государственной поддержки аграрного сектора увеличивается в большинстве экономически развитых стран. Так, объем государственной поддержки за период 2019–2023 гг. вырос в Китае на 31,1 %, США – на 22,4, Канаде – на 16,4, в целом странах, входящих в ОЭСР, – на 8,7, а в ЕС – на 3,2 %. Также следует отметить, что расходы на оказание услуг для сельского хозяйства занимают в Китае 10,4 % от общего объема поддержки, в ЕС – 12,4, странах – членах ОЭСР – 14,3 %, в том числе на развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций – 1,4; 6,8 и 4,8 % соответственно (табл. 2). Уровень защиты сельхозпроизводителей, который определяется как соотношение между средней ценой на сельхозпродукцию, с учетом государственной поддержки на единицу продукции, и уровнем цен мирового рынка, складывается в пользу сельхозпроизводителя. Например, указанный коэффициент в Китае – 1,15, Норвегии – 1,50, Турции – 1,12, Японии – 1,51, Канаде – 1,04, Европейском союзе – 1,03, в среднем по ОЭСР – 1,07. Исследования подтверждают, что государственная поддержка при ее социально-экономической эффективности является объективно необходимой для преодоления рыночной нестабильности и стимулирования положительной динамики производства. В перспективе меры аграрной политики будут иметь решающее значение для повышения производительности сельского хозяйства, конкурентоспособности и технологической независимости [21, 22].

5. Особая роль драйвера экономики принадлежит пищевой промышленности, что позволяет существенно увеличить конкурентные преимущества за счет высокотехнологичной переработки сельскохозяйственного сырья и достижения максимальной адаптивности к изменениям рыночной конъюнктуры. Ожидается, что объем продаж на мировом рынке продуктов питания и напитков будет ежегодно прирастать на 6,5–7,0 % и к 2028 г. достигнет 11,78 трлн долл. США.

Таблица 2. Динамика государственной поддержки аграрного сектора по странам мира

Table 2. Dynamics of state support for the agricultural sector by countries of the world

Показатель	Объем поддержки, млн долл. США				Изменение в %	
	2015 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г. к 2019 г.	Сумма 2021–2023 гг. к 2018–2020 гг.
<i>Россия</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	10 902,1	5 426,3	4 753,6	5 182,2	53,3	53,2
Поддержка услуг для сельского хозяйства в т. ч. развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций	1 439,2	1 554,9	1 949,6	1 640,3	85,8	94,9
	559,0	616,5	622,7	506,6	80,2	88,9
<i>Китай</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	266 825,2	323 468,6	309 627,9	294 279,6	131,1	126,5
Поддержка услуг для сельского хозяйства в т. ч. развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций	45 319,0	32 335,4	31 713,5	30 735,6	104,1	94,1
	9 023,2	4 537,6	4 491,6	4 353,1	61,6	64,8
<i>Страны – члены ОЭСР</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	301 864,3	359 653,1	333 569,8	343 982,9	108,7	106,4
Поддержка услуг для сельского хозяйства в т. ч. развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций	41 827,3	50 050,1	48 420,4	49 255,7	109,3	106,5
	13 066,2	16 207,8	14 984,5	16 591,2	115,7	111,7
<i>Европейский союз</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	104 702,86	104 886,4	101 385,9	115 301,1	103,2	94,5
Поддержка услуг для сельского хозяйства в т. ч. развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций	12 924,1	14 375,4	12 930,72	14 293,23	113,2	104,3
	6 049,7	7 803,2	7 008,4	7 849,7	114,6	110,3
<i>США</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	90 308,6	130 521,6	134 738,9	117 999,1	122,4	131,4
Поддержка услуг для сельского хозяйства	8 690,0	11 935,1	13 508,2	13 500,4	120,4	123,1
<i>Канада</i>						
Совокупная поддержка сельского хозяйства	5 748,3	9 554,4	7 293,6	7 210,3	116,4	130,6
Поддержка услуг для сельского хозяйства в т. ч. развитие системы сельскохозяйственных знаний и инноваций	1 741,6	1 942,0	2 098,2	1 782,0	108,7	114,9
	701,4	675,3	693,3	648,0	107,6	107,8

Источник: Международная база данных OECD.

Source: International database OECD.

Наиболее выраженная положительная динамика характерна для сегмента молочных продуктов, рыбы и рыбопродуктов, хлеба и зерновых продуктов, полуфабрикатов, овощей и фруктов, продуктов детского питания (табл. 3). Рост спроса обусловлен увеличением численности населения в мире, а также среднедушевых доходов и потребления продуктов животного происхождения. Страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в частности Китай, становятся крупнейшими покупателями продовольствия в мире. По данным ФАО и ОЭСР, доля Китая в глобальном импорте

зерновых увеличилась с 1 до 11 % за последние двадцать лет, мяса и мясопродуктов – с 4 до 19 %, молочных продуктов с 4 до 17 %, масложировых продуктов – с 14 до 32 %.

На сегодняшний день продовольствие – это самый быстрорастущий и перспективный сектор мировой экономики, и Беларусь имеет достаточный производственный потенциал для того, чтобы занять самые выгодные экспортные ниши и вносить свой вклад в обеспечение глобальной продовольственной безопасности. Развитие переработки обеспечивает получение максимальной пользы и стоимости с единицы сельскохозяйственного сырья (зерна, сахарной свеклы, молока, мяса, масличных) [23, 24]. На рынке продовольствия востребованы продукты глубокой переработки: с особыми функциональными свойствами, обогащенные натуральными ингредиентами, с повышенным содержанием белка и пищевых волокон, концентраты молочных и сывороточных белков, лактозы, многокомпонентные сухие смеси для изготовления мороженого, детского питания, продукты, произведенные с применением биотехнологий – модифицированные крахмалы, кормовые добавки, глюкозные сиропы, глютен, аминокислоты, витамины, ферменты, органические кислоты [25–27].

Анализ показал, что инновационная активность товаропроизводителей остается решающим фактором конкуренции на рынке продовольствия. Технологии и эффективные бизнес-модели позволяют оптимизировать затраты на производство и реализацию продукции, рационально использовать ограниченные ресурсы, а также обеспечить устойчивость по основным составляющим¹ [28, 29]. Ведущие мировые компании значительно увеличили расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), а также инвестиции для поддержания устойчивой стратегии.

Таблица 3. Прогноз развития мирового рынка готовых продуктов питания

Table 3. Forecast for development of the world market of prepared food products

Продукция	Объем продаж, трлн долл. США			2028 г. к 2022 г., %
	2022 г.	2025 г.	2028 г.	
Продовольственные товары – всего	7,91	9,78	11,78	148,9
Продукты для детей	0,07	0,08	0,09	128,6
Хлеб и крупяные продукты	1,18	1,48	1,79	151,7
Кондитерские изделия и закуски	0,74	0,89	1,04	140,5
Полуфабрикаты	0,57	0,7	0,84	147,4
Молочные продукты и яйца	1,01	1,26	1,55	153,5
Рыба и морепродукты	0,58	0,73	0,87	150,0
Фрукты и орехи	0,75	0,92	1,11	148,0
Мясо	1,28	1,56	1,86	145,3
Масла и жиры	0,22	0,27	0,33	150,0
Соусы и специи	0,23	0,28	0,33	143,5

Источник: Международная база данных Statistica (дата доступа: 7.07.2024).

Source: International database Statistica (date of access: 7.07.2024).

Следует отметить, что в современных условиях появляются новые закономерности развития мирового рынка продовольствия в контексте переформатирования торгово-экономических связей и подходов государственного регулирования [21, 28, 29]:

– международные агропродовольственные цепочки трансформируются под влиянием нарастающей конкуренции за доступ к качественному сельскохозяйственному сырью. Если в прошлом десятилетии транснациональные продажи продовольствия занимали ведущую роль, то

¹ H2020 Programme 2018–2020. For a better innovation support to SMEs. Innosup-01-2018-2020 Cluster facilitated projects for new industrial value chains: background note: version 1.2, 4 December 2019 // European Commission. URL: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/guides_for_applicants/h2020-guide-note-innosup-1-18-20_en.pdf (date of access: 11.11.2023).

в современных условиях большинство стран самостоятельно выстраивают полный цикл до экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью;

– доступность современных технологий и научно-технический потенциал определяют конкурентные возможности для развития агропромышленного комплекса. В числе приоритетов – сохранение и повышение почвенного плодородия, улучшение баланса минеральных и органических веществ, создание и внедрение в сельском хозяйстве продуктов на основе био- и нанотехнологий;

– происходит объективное замещение тенденций либерализации международной торговли на основе принципов ВТО и выстраивание новых, углубленных торгово-экономических и производственных кооперационных связей в рамках международных региональных формирований (ЕАЭС, СНГ, ШОС, БРИКС). Таким образом, для Беларуси появляются новые рыночные возможности для наращивания и максимального использования экспортного потенциала на рынке продовольствия и высокотехнологичных товаров для сельского хозяйства;

– в условиях нестабильности мировой экономики и рынка наибольшую устойчивость демонстрирует крупнотоварный сектор, который имеет преимущества организационно-производственного, технологического и финансово-экономического характера, позволяет обеспечить необходимую концентрацию и эффективное использование ресурсов, организовать собственную кормовую базу для животноводства, гарантировать строгое соблюдение агротехнологии, выстроить полный производственно-сбытовой цикл, включая агротехническое обслуживание сельского хозяйства, собственную систему торговых объектов на внутреннем и внешнем рынках.

Практическое применение выявленных закономерностей позволяет оценить дополнительные возможности для развития отечественного АПК, в частности: необходимость создания новых производств продукции с высокой добавленной стоимостью, доступных отечественных прорывных технологий, выстраивания полноценных национальных производственно-сбытовых цепочек с выходом на продукцию с высокой добавленной стоимостью. Вместе с тем серьезное усложнение глобальной геополитической обстановки и кризисные явления на мировом рынке продовольствия, которые мы наблюдаем в последние годы, требуют постоянного совершенствования государственной аграрной политики и стратегии, выработки и применения механизмов и мер регулирования, обеспечивающих устойчивость основных параметров социально-экономического развития и гарантированного обеспечения продовольственной безопасности вне зависимости от влияния внешних условий.

Анализ тенденций и факторов развития агропромышленного производства в Республике Беларусь. По результатам выявлены основные тенденции и результаты функционирования отечественной аграрной отрасли.

1. *Обеспечена положительная динамика производства сельскохозяйственной продукции и высокий уровень самообеспечения.* В 2024 г. индекс производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах составил 103,4 %, в 2023 г. – 101,1 %. При этом по результатам исследования достаточной, с учетом наращивания производительности и стабилизации экономических показателей аграрной отрасли, является устойчивая динамика валовой продукции на уровне 104–105 % в год.

Достигнут высокий показатель самообеспечения по основным видам продукции: картофелю – 111 %, овоцам и бахчевым – 103 %, мясу – 135 %, молоку – 283 %, яйцам – 123 %, что гарантирует стабильность внутреннего продовольственного рынка и доступность продуктов питания для собственного населения, а также позволяет формировать значительный экспортный потенциал и весомый вклад в экономику предприятий, отраслей и народного хозяйства в целом.

2. *Страна имеет значительные результаты в части содействия достижению Целей устойчивого развития (ЦУР) в части ликвидации голода, обеспечения продовольственной безопасности, улучшения питания населения.* Увеличивается количество генетических ресурсов, предназначенных для производства продовольствия и сельского хозяйства, которые хранятся на специальных объектах средне- и долгосрочного хранения, в том числе, согласно данным 2023 г., ресурсы растительного происхождения составляют 51,6 тыс. ед. (на 73 % больше показателя

2017 г.) и зоологического происхождения – 28,3 тыс. ед. (на 34 % больше). Индекс ориентированности государственных расходов на сельское хозяйство свидетельствует о росте доли отрасли в государственных расходах относительно ее доли в ВВП – 1,1 по данным 2023 г. (для сравнения: в 2017 г. – 0,8). Достигнут крайне низкий показатель умеренного или острого отсутствия продовольственной безопасности населения – менее 1,4 %, а также низкий уровень потерь продовольствия – 2,16 %.

Данные позволяют сделать вывод, что по международным критериям развитие отечественного сельского хозяйства является устойчивым, вместе с тем следует отметить, что для объективного анализа в наиболее чувствительных сферах в контексте эффективности, конкурентоспособности и достижения технологической независимости АПК необходимо применять специальную, адаптированную к условиям республики систему индикаторов.

3. Экономические отношения в отрасли характеризуются сбалансированностью. Так, индекс паритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию за последние годы складывался в пользу сельхозпроизводителя, в том числе в 2024 г. составил 99,0 % (табл. 4).

Таблица 4. Показатели развития сельскохозяйственного производства в Республике Беларусь

Table 4. Indicators of agricultural production development in the Republic of Belarus

Показатель	Год					Изменение 2024 г. к 2023 г., п. п.
	2020	2021	2022	2023	2024	
Индекс производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах, в % к предыдущему году	104,4	96,0	103,6	101,1	103,4	2,3
Объем производства зерна в расчете на душу населения, кг	923	787	943	835	913	78 кг
Индекс паритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, %	97,1	97,9	94,4	98,4	99,0	0,6
Индекс инвестиций в основной капитал, в % к предыдущему году в сопоставимых ценах сельское, лесное и рыбное хозяйство производство продуктов питания и напитков	102,6 127,4	101,8 79,4	93,3 68,6	113,0 114,1	100,1 Нет данных	–12,9 Нет данных
Отношение номинальной среднемесячной заработной платы работников сельского, лесного и рыбного хозяйства к среднереспубликанскому уровню, %	72,8	73,2	75,9	77,6	80,7	3,1
Рентабельность реализованной продукции, товаров, работ, услуг в сельском, лесном и рыбном хозяйстве, %	7,2	10,6	11,1	6,9	7,3	0,4
Отношение обязательств организаций к выручке от реализации продукции, работ, услуг, %	123,3	110,8	103,7	112,4	113,5	1,1

Примечание. Таблица составлена по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Note. The table is compiled according to data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

Объем инвестиций в основной капитал сельского, лесного и рыбного хозяйства в 2024 г. составил 6 475,0 млн руб. в текущих ценах (100,1 % к предыдущему году в сопоставимых ценах), а доля отрасли в общем объеме инвестиций равна 14,6 %, что свидетельствует о приоритетности вложений.

Уровень рентабельности реализованной продукции, товаров, работ, услуг в отрасли составил по итогам 2024 г. 7,3 %. При этом 35,6 % прибыльных организаций имеют окупаемость затрат выручкой от 0 до 5 %; 23,2 % – от 5 до 10 %; 36,1 % – от 10 до 20 % и 5,2 % – свыше 20 %.

Вместе с тем сохраняется значительный уровень накопленных обязательств сельскохозяйственных организаций, который не позволяет обеспечить устойчивое расширенное воспроизведение. Так, сумма кредиторской задолженности в сельском хозяйстве по состоянию на 1 января 2025 г. составляла 13 100,3 млн руб., в том числе просроченная – 22,1 %, задолженность по кредитам и займам – 8 675,3 млн руб. (просроченная часть – 6,7 %), дебиторская задолженность – 2 939,5 млн руб. (просроченная часть – 19,7 %).

4. Уровень загрузки мощностей по переработке сельскохозяйственного сырья и производству готовой продукции в республике имеет резервы увеличения. В среднем за 2020–2022 гг. показатель использования производственных мощностей по колбасным изделиям составил около 70 %, молоку и сливкам сухим – 86 %, маслу сливочному – 72 %, сырам твердым – 88 %, муке – 71 %, крупе – 57 %, маслам растительным – 84 %, крахмалам (кроме модифицированных) – 76,2 %, плодовоовощным консервам (кроме детского питания) – около 50 %. В целях обеспечения стабильного поступления собственного сырья на переработку в стране применяется практика формирования сырьевых зон.

Законодательно закреплены следующие положения: а) в целях обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь определены на перспективу сырьевые зоны сахароперерабатывающих организаций¹ и по производству пивоваренного ячменя для нужд производства пивоваренного солода²; б) созданы сырьевые зоны агропромышленных объединений Витебской области, в рамках которых выстраивается устойчивая и эффективная модель взаимодействия организаций по производству, переработке сельскохозяйственной продукции, обслуживанию сельского хозяйства и торговле³.

5. В разрезе регионов отмечается значительная дифференциация по устойчивости и эффективности производства, что содержит экономическое развитие аграрного сектора. Так, индекс производства продукции в хозяйствах всех категорий в сопоставимых ценах в Витебской области за последние пять лет находился в диапазоне 93,2–103,5, Гомельской – 91,1–104,5, Могилевской – 94,7–105,5, Минской – 96,0–104,5, Брестской – 100,6–106,1, Гродненской – 96,5–107,7 % (табл. 5).

В 2024 г. уровень урожайности зерновых в Брестской области составил 39,1 ц с 1 га (прирост за 2020–2024 гг. на 3,2 %), Витебской – 22,7 (снижение на 20 %), Гомельской – 21,1 (снижение на 22 %), Гродненской – 48,2 (прирост на 8,1 %), Минской – 41,7 (прирост на 6,9 %), Могилевской – 24,7 ц с 1 га (снижение на 22 %). В расчете на 1 га сельхозугодий в Брестской области внесено 192 кг минеральных удобрений, Витебской – 74, Гомельской – 133, Гродненской – 205, Минской – 173, Могилевской – 123 кг. Установлено, что более низкий уровень внесения удобрений отмечается в регионах, где по объективным причинам имеется наибольшая потребность в дополнении почвенного плодородия.

Ряд районов Витебской, Могилевской и Гомельской областей имеют более низкий по сравнению с другими регионами республики биоклиматический потенциал, качество земель и обеспеченность трудовыми ресурсами для ведения сельскохозяйственного производства. В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 января 2025 г. № 19 они относятся к районам, неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции: 20 районов Гомельской области, 16 – Витебской, 14 – Могилевской, 6 – Минской, 5 – Брестской и 4 – Гродненской областей.

Установлено, что значительная часть организаций в указанных районах испытывает недостаток финансовых ресурсов для нормального ведения аграрного производства, не могут инвестировать

¹ Об установлении сырьевых зон: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 13 апр. 2022 г. № 227 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200227> (дата обращения: 10.05.2025).

² Об установлении сырьевых зон: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 3 нояб. 2022 г. № 754 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200754&p1=1&p5=0> (дата обращения: 10.05.2025).

³ О развитии агропромышленного комплекса Витебской области: Указ Президента Республики Беларусь от 25 февр. 2020 г. № 70 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32000070&p1=1&p5=0> (дата обращения: 10.05.2025).

Таблица 5. Показатели устойчивости функционирования аграрной отрасли в разрезе регионов Республики Беларусь
Table 5. Indicators of sustainability of functioning of the agricultural sector by regions of the Republic of Belarus

Регион	Показатель																			
	Индекс производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, в % к предыдущему году в сопоставимых ценах					Урожайность зерновых в хозяйствах всех категорий, ц с 1 га					Заготовка кормов в расчете на условную голову скота на 1 декабря в сельскохозяйственных организациях, ц.к. ед. в организациях, кг					Количество внесенных удобрений в расчете на 1 га сельхозугодий в организациях, кг				
2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Брестская обл.	106,1	100,6	104,7	103,8	105,2	37,9	34,6	38,0	39,9	39,1	38,0	37,6	37,4	40,2	40,8	167	158	176	191	192
Витебская обл.	103,5	93,2	101,4	94,6	101,1	28,4	23,6	28,1	22,7	22,7	28,2	23,8	26,0	21,2	28,1	69	64	106	85	74
Гомельская обл.	101,1	91,1	98,7	102,9	104,5	27,0	22,9	23,3	25,0	21,1	27,6	30,6	27,2	30,1	28,2	130	121	130	134	133
Гродненская обл.	107,7	96,5	106,9	103,2	102,3	44,6	36,3	47,0	45,5	48,2	40,1	41,3	44,3	41,4	47,6	193	172	192	207	205
Минская обл.	104,3	96,0	104,1	99,4	104,5	39,0	33,7	40,6	36,0	41,7	40,0	33,0	35,8	35,7	41,8	156	158	186	178	173
Могилевская обл.	105,5	94,7	102,0	101,0	103,8	32,1	25,6	28,4	25,6	24,7	29,9	26,4	27,8	27,1	29,3	126	113	120	134	123
Регион	Рентабельность реализованной продукции, товаров, работ, услуг, %										Коэффициент обеспеченности обязательств активами на конец периода									
Брестская обл.	11,2	13,4	14,9	10,9	11,6	36,2	35,9	27,4	28,1	27,8	47,7	51,2	55,5	55,2	56,5	5,9	5,1	3,9	1,3	0,9
Витебская обл.	1,4	5,7	4,0	-0,1	1,2	55,3	55,8	48,7	46,9	46,6	16,1	12,0	12,3	13,4	11,9	9,5	10,6	11,5	8,9	6,3
Гомельская обл.	3,9	7,4	3,8	-1,1	-0,6	52,4	52,7	42,6	42,9	41,4	36,0	35,8	28,4	23,4	22,0	8,2	7,6	7,3	10,8	10,9
Гродненская обл.	10,8	10,1	16,7	11,0	10,9	42,9	44,4	33,4	34,1	34,4	47,1	37,6	55,4	53,5	50,2	10,2	12,2	4,6	4,6	6,5
Минская обл.	8,1	12,8	13,0	8,4	9,2	56,9	55,4	44,7	45,2	45,6	11,2	15,9	21,2	18,3	13,8	12,5	8,4	7,5	10,0	14,8
Могилевская обл.	5,0	9,8	9,8	5,4	4,9	56,6	53,5	42,6	42,4	44,6	17,1	21,9	24,7	19,1	10,4	10,9	7,2	7,4	9,1	8,8

Примечание. Таблица составлена по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.
Note. The table is compiled according to data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

в материально-техническую базу, модернизацию технологий, строительство животноводческих помещений, приобретение высокопродуктивного скота на уровне расширенного воспроизводства. Так, в 2024 г. коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами в Брестской области был равен 56,5, Витебской – 11,9, Гомельской – 22, Гродненской – 50,2, Минской – 13,8, Могилевской – 10,4 %. Удельный вес убыточных организаций в Брестской области составил 0,9 %, Витебской – 6,3, Гомельской – 10,9, Гродненской – 6,5, Минской – 14,8, Могилевской – 8,8 %. Для вывода организаций на траекторию роста производства и восстановления экономической эффективности необходимы детально проработанные бизнес-планы и гарантии устойчивых инвестиций.

Анализ развития отечественного АПК на региональном уровне подтверждает наличие положительных тенденций, включая стабильное производство продукции в соответствии с потребностью и критериями продовольственной безопасности государства, рост экспортного потенциала и добавленной стоимости продовольствия, поставляемого на внешний рынок. Вместе с тем сохраняется ряд проблемных вопросов, в числе которых – недостаточная финансовая устойчивость значительной части организаций, слабая материально-техническая база, дефицит квалифицированных кадров, что в совокупности оказывает существенное негативное влияние на обеспечение технологической дисциплины при производстве сельскохозяйственной продукции.

Направления и механизмы устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса. В целях всесторонней и комплексной оценки результативности деятельности сельхозпроизводителей разработана методика, содержащая частные по группам и итоговый интеграль-

Таблица 6. Группы индикаторов оценки эффективности функционирования сельскохозяйственных организаций

Table 6. Groups of indicators for assessing the performance of agricultural organizations

Направление анализа	Индикаторы	Меры регулирования
Производственный потенциал	Прирост физического объема производства продукции в сопоставимых ценах. Уровень урожайности зерна с учетом балла плодородия пашни. Плотность условного поголовья в расчете на 100 балло-гаектаров сельхозугодий. Обеспеченность основными фондами. Уровень государственной поддержки	Укрепление материально-технической базы, в т. ч. высокопроизводительной техникой. Концентрация производства на землях с максимальной продуктивностью. Создание мобильных бригад специалистов для оперативного консультирования (ветврачей, зоотехников, агрономов, инженеров). Формирование и развитие эффективных сырьевых зон
Экономическая эффективность	Выручка от реализации продукции в расчете на 100 балло-гаектаров сельхозугодий. Уровень окупаемости затрат выручкой от реализации продукции. Уровень окупаемости государственной поддержки выручкой от реализации продукции, работ, услуг	Снижение удельных затрат, приведение их к научно обоснованным уровням. Соблюдение организационных и технологических нормативов производства. Внедрение цифровых технологий и программно-методических комплексов по планированию, организации и мониторингу агротехнологии
Финансовые результаты	Прирост производительности труда по выручке от реализации продукции. Прирост реальной заработной платы работников. Уровень исполнения обязательств организации (наличие просроченной части)	Увязка стимулирования труда с ростом производительности на каждом этапе. Управление дебиторской и кредиторской задолженностью, оптимизация источников финансирования деятельности. Совершенствование и автоматизация учета, бюджетирование затрат. Экономически обоснованное привлечение ресурсов государственной поддержки в целях повышения производительности
Результативность	Полное выполнение государственного заказа. Участие в реализации инвестиционных проектов и заданий госпрограмм. Приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования по лизингу	Экономически обоснованное планирование поставок сырья на переработку. Эффективное стратегическое планирование развития организации, формирование точек роста экономики и добавленной стоимости

ный показатели, на основании интерпретации которых принимается решение по выработке дополнительных мер регулирования и контроля (табл. 6). Методика учитывает активность организации в выполнении задач устойчивого развития района (области), включая выполнение государственного заказа, инвестиционных проектов и заданий госпрограмм. Результаты увязываются с применением мер государственного регулирования и поддержки. На практике разработка позволяет выявить группы организаций, которые являются драйверами социально-экономического развития региона, выработать меры дополнительного стимулирования, обеспечить рациональное использование ресурсов на национальном, региональном и хозяйственном уровнях.

В современных условиях одним из ключевых факторов устойчивого развития национального агропромышленного комплекса является интеграция структурных звеньев в единую систему на базе тесного взаимодействия сельского хозяйства, промышленности, материально-технического обслуживания, торговли [7]. С учетом результатов практического анализа деятельности крупнотоварных кооперационно-интеграционных структур с полным циклом производства (производство сельскохозяйственной продукции, переработка, торговля) выявлены ключевые преимущества механизма их функционирования:

- производительность и эффективность (стабильное производство и поставки собственного сельскохозяйственного сырья на переработку; мониторинг агротехнологии, наличие резервов роста производительности; единая политика управления затратами и качеством продукции в увязке с системой мотивации труда);

- финансово-экономическая устойчивость (единая система управления и контроля финансовой деятельности участников; возможность оперативного решения проблем дефицита финансовых ресурсов и средств производства за счет перераспределения потоков на уровне головной (управляющей) компании; бюджетирование финансовых потоков);

- развитая система управления (использование современных цифровых и интеллектуальных решений; экспертно-консультативное сопровождение бизнес-процессов; защита информации; возможность сформировать штат менеджеров с необходимым производственным опытом и квалификацией на каждое направление деятельности (управление финансами, экономическое планирование, технологии производства, безопасность); контроль за соблюдением дисциплины и законодательства);

- эффективное планирование (наличие единой стратегии развития; мониторинг и контроль поставок и расчетов по сырью, поступающему на перерабатывающие мощности, разработка справедливых внутренних цен, обеспечивающих окупаемость затрат и уровень прибыли, достаточный для расширенного воспроизводства);

- инвестиционно-инновационный потенциал (стабильные вложения в воспроизводство капитала; прогрессивная технологическая структура инвестиций; достаточный финансовый потенциал; комплексный прогноз и стратегии развития);

- результирующая сбытовой и экспортной деятельности (стабильные каналы сбыта; увеличение доли продукции высокой степени переработки; развитие собственной товаропроводящей сети в республике и на зарубежных рынках).

На основе проведенного анализа обоснованы перспективные параметры развития отечественного агропромышленного комплекса, которые в ближайшее десятилетие позволят нарастить конкурентные преимущества на мировом рынке относительно стран-конкурентов на инновационной основе [1, 21]:

- производство зерна стабильно на уровне 10,0–11,0 млн т в целях удовлетворения потребности промышленности, общественного животноводства и формирования резервов;

- рост производительности труда в сельском хозяйстве в расчете на одного работника в сопоставимых ценах относительно достигнутого уровня на 60–75 %;

- достижение безубыточности сельского хозяйства за счет роста производства и реализации продукции, повышения экономической эффективности, реструктуризации долговых обязательств и поддержания ценового паритета;

- увеличение доли инновационно активных организаций до 50 % на основе последовательной модернизации сельскохозяйственных, перерабатывающих предприятий и субъектов инфраструктуры;
- повышение уровня использования отечественных товаров по основным видам материально-технических ресурсов для сельского хозяйства (семена, средства защиты растений, племенная продукция, цифровые технологии), интегрального показателя технологической независимости АПК до 80 %;
- увеличение доли отечественной продукции в организациях торговли на внутреннем рынке до 85–86 % за счет фактора ценовой и качественной конкурентоспособности;
- рост экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью, глубокой переработки и высокотехнологичной продукции.

Практическое применение указанных параметров ориентирует на выработку мер стратегического характера по формированию благоприятных экономических, организационных условий и производственно-сбытовой инфраструктуры для устойчивого развития АПК, в том числе: своевременные инвестиции в модернизацию и создание перерабатывающих мощностей, хранения и транспортировки; увеличение объемов и повышение качества сельскохозяйственной продукции; развитие стратегического партнерства по всей продовольственной цепочке, в частности между переработчиками и производителями сельскохозяйственного сырья, а также организациями торговли; стимулирование рационального потребительского выбора и приоритетного отношения к отечественной продукции.

Предлагается реализовать следующие направления устойчивого развития национального агропродовольственного комплекса [1, 2, 21, 27, 30].

Первое – повышение устойчивости и эффективности производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия за счет:

- укрепления материально-технической базы сельхозорганизаций, повышения обеспеченности современной высокопроизводительной и энергосберегающей техникой;
- внедрения адаптивных систем ведения сельскохозяйственного производства применительно к условиям регионов республики с использованием технологий точного земледелия, биотехнологий и генной инженерии, высокоурожайных сортов и гибридов;

интенсификации кормовой базы животноводства, применения адресных комбикормов-концентратов, внедрения цифровых решений мониторинга и управления стадом, обеспечения максимального использования генетического потенциала животных;

полного ресурсного обеспечения расширенного воспроизводства, соблюдение технологической дисциплины, регламентов получения продукции животноводства и растениеводства.

Второе – повышение конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках на основе реализации следующих мер:

укрепление собственной сырьевой базы производства пищевых продуктов высокого качества; создание высокоэффективных сырьевых зон (интенсификация, специализация и размещение отраслей);

создание новых мощностей по глубокой переработке сырья, выпуску концентратов молочных и сывороточных белков, многокомпонентных сухих смесей, сбалансированных комбикормов, аминокислот, многофункциональных ингредиентов, специализированных и функциональных продуктов;

развитие современной рыночной инфраструктуры, способствующей эффективному движению продукции на внутреннем и внешнем рынках, создание платформ электронной торговли, оптовых распределительных центров с современными цифровыми технологиями товародвижения и возможностью формирования электронных торгов и заказов;

эффективное стратегическое прогнозирование развития агропромышленного производства на основе мониторинга конъюнктуры, оперативного снабжения экспортёров рыночной информацией;

проведение согласованной аграрной и экономической политики в рамках ЕАЭС, основанной на свободе движения товаров, работ, услуг, капитала и знаний; согласованное представление и защита интересов товаропроизводителей на рынках третьих стран.

Третє – формирование современной организационной структуры АПК, включая:

развитие конкурентоспособных кооперативно-интеграционных структур в АПК в форме агрокомбинатов и агрохолдингов, обеспечивающих эффективное управление цепочкой создания добавленной стоимости продукции;

продвижение принципов социально ответственного поведения товаропроизводителей и организаций торговли (системное повышение качества, доступности и безопасности продукции, стратегическое партнерство);

кооперация производителей сырья и перерабатывающих предприятий в рамках среднесрочных производственно-сбытовых программ, ориентированных на достижение целевых параметров производства, эффективности, качества и экспорта продукции.

Четвертое – научно-инновационное обеспечение развития АПК:

разработка и внедрение инновационных био- и нанотехнологий в производство продукции растительного и животного происхождения в целях повышения ее качества и наращивания конкурентных преимуществ отечественного АПК на мировом рынке продовольствия;

стимулирование научных исследований и расширение научно-производственной кооперации в рамках Союзного государства, ЕАЭС, СНГ по развитию селекции и семеноводства, племенного животноводства, созданию новых технологий и оборудования в целях обеспечения общих конкурентных преимуществ в высокотехнологичных отраслях;

продвижение на новых экспортных рынках белорусских агропродовольственных товаров, технологий, научных разработок услуг, компетенций и лучшего производственного опыта;

создание центров научно-технического взаимодействия субъектов АПК Союзного государства, ЕАЭС, СНГ, ШОС, ориентированных на трансферт и активное освоение отечественных инновационных решений и технологий.

Пятое – совершенствование механизма государственного регулирования, ориентированное:

на укрепление экономических отношений в цепочке создания добавленной стоимости агропродовольственной продукции, между сельхозпроизводителями, переработчиками и торговлей;

создание системы организационных, экономических и правовых предпосылок устойчивого роста аграрного сектора; поддержка инвестиционной деятельности, кредитования и страхования производства;

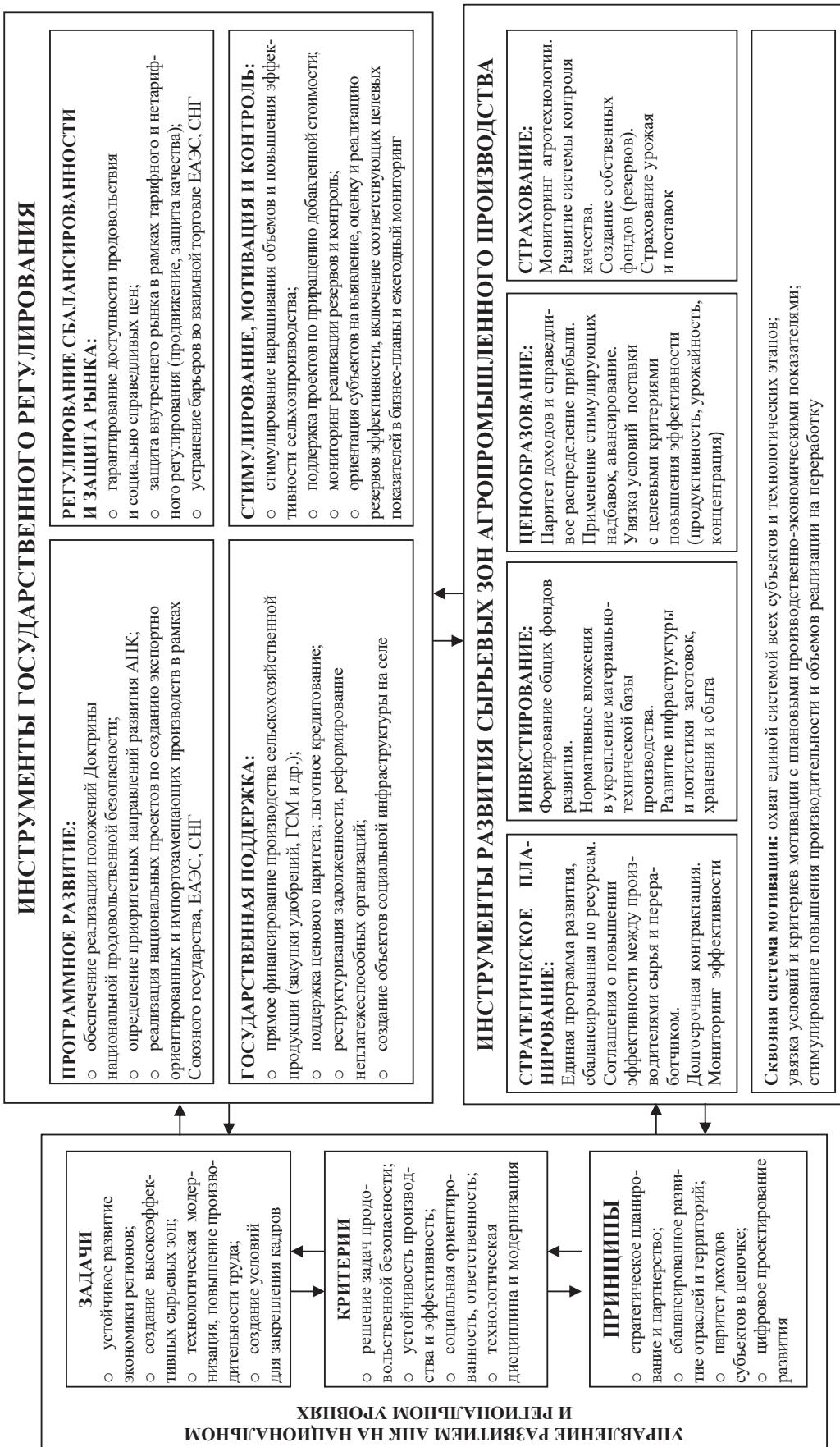
развитие дополнительных инструментов стимулирования производства в рамках сырьевых зон; использование согласованных критериев повышения конкурентоспособности сельхозпроизводителей и переработчиков; льготное кредитование модернизации мощностей в целях улучшения структуры добавленной стоимости;

стимулирование притока в отрасль квалифицированных кадров и молодежи в соответствии с перспективной структурой производства и конкурентным инновационно-технологическим укладом;

усиление взаимосвязи мер государственной поддержки, оказываемой сельхозпроизводителям, с показателями производственно-экономической эффективности; сохранение доли расходов консолидированного бюджета на сельское хозяйство в общих расходах – не менее вклада отрасли в ВВП в целях достижения расширенного воспроизводства;

совершенствование механизмов мотивации на всех этапах технологического цикла, стимулирования активности аграрного бизнеса.

Предлагается механизм регулирования устойчивости агропромышленного производства, содержащий: методику оценки результативности сельхозпроизводителей; рекомендации по стимулированию достижения целевых производственно-экономических параметров; специальные меры, направленные на стабилизацию ресурсного обеспечения, который позволяет обеспечить индивидуальный подход к выработке стратегии по выходу на устойчивую и рентабельную деятельность (рисунок). Практическое его применение даст возможность выстроить многоуровневую систему стимулирования сельхозпроизводителей в рамках государственной поддержки и мер аграрной политики, а также экономического механизма сырьевой зоны, ориентированную на повышение результативности в достижении целевых параметров программ регионального развития и отраслевых государственных программ.



Механизм государственного регулирования устойчивого развития агропромышленного производства
Mechanism of state regulation of sustainable development of agro-industrial production

Заключение. На основании проведенного анализа выявлены тенденции развития мирового рынка (сохраняющаяся нестабильность ценовой конъюнктуры; формирование конкурентных преимуществ экспортеров за счет инноваций и высокотехнологичной переработки; адаптивная трансформация и локализация международных цепочек) и закономерности (усиление роли доступа к технологиям для устойчивого сельскохозяйственного производства; замещение тенденций либерализации торговли тесными кооперационными связями), что позволяет объективно оценить и эффективно использовать новые возможности для развития отечественного АПК на основе ускоренного роста производительности и конкурентоспособности. Подтверждается, что сложившийся за последние годы благоприятный уровень государственной поддержки аграрного сектора в Беларуси является важнейшим условием обеспечения национальной продовольственной безопасности и в перспективе должен сохраняться при повышении эффективности.

Выполнен анализ действующего механизма государственного регулирования развития агропромышленного производства и рынка, обоснованы направления совершенствования в современных условиях (обеспечение устойчивого роста и расширенного воспроизводства в регионах; повышение эффективности использования ресурсов). На базе проведенной сравнительной оценки потенциала, устойчивости и эффективности производства в разрезе регионов выявлена необходимость преодоления дифференциации по уровню обеспеченности важнейшими производственными ресурсами и производительности труда, а также экономически обоснованного увеличения объемов, качества и добавленной стоимости продукции для достижения стабильной окупаемости затрат и самофинансирования деятельности. Это позволило разработать функциональную модель механизма государственного регулирования, которая базируется на использовании эффективных инструментов (программное развитие; исследования, разработки и компетенции для повышения устойчивости; государственная поддержка; регулирование сбалансированности рынка; интеллектуализация, использование аналитических моделей рынка; стимулирование, мотивация, мониторинг и контроль), постановке целевых критериев повышения эффективности и программном стратегическом планировании резервов на всех уровнях, и позволяет обеспечить рациональное использование ресурсов отрасли и мер поддержки в условиях расширенного устойчивого воспроизводства в АПК.

Обоснован комплекс мер по повышению устойчивости национального агропромышленного производства, сгруппированных по направлениям, включая: повышение устойчивости и эффективности (укрепление материально-технической базы; внедрение современных ресурсосберегающих технологий); обеспечение конкурентоспособности (создание условий для приоритетного продвижения товаров отечественного производства; развитие современной рыночной инфраструктуры, оптовых распределительных центров); совершенствование организационной структуры (развитие агрокомбинатов и агрохолдингов; продвижение принципов социально ответственного аграрного бизнеса); научно-инновационное обеспечение (разработка и внедрение инновационных био- и нанотехнологий, цифровых технологий в процессы производства и управления; расширение научно-производственной кооперации); механизм государственного регулирования (поддержка инвестиционной деятельности, кредитования и страхования производства; повышение эффективности использования ресурсов поддержки). Предложенный комплекс мер и мероприятий базируется на исследовании отечественного и зарубежного опыта, а также на оценке потенциала отечественного АПК, его стратегических конкурентных преимуществ на мировом рынке. Он обеспечивает формирование «точек роста» отраслей и предприятий, повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции, наращивание потенциала отечественного АПК и достижение устойчивого экономического роста.

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 навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2024. – Т. 62, № 4. – С. 271–287. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-271-287>
2. Котковец, Н. Н. Развитие производственного потенциала агропромышленного комплекса Республики Беларусь в контексте тенденций мирового рынка продовольствия / Н. Н. Котковец, С. А. Кондратенко // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2024. – Т. 62, № 1. – С. 7–21. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-1-7-21>
3. Мониторинг продовольственной безопасности – 2022 с учетом социально-экономических факторов / В. Г. Гусаков, А. В. Пилипук, С. А. Кондратенко [и др.]. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2023. – 261 с.
4. Обеспечение продовольственной безопасности Республики Беларусь в контексте глобальных тенденций / С. А. Кондратенко, Г. В. Гусаков, Н. В. Карпович [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 391–409. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-391-409>
5. Рабочая поездка в Шкловский район Могилевской области // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь. – URL: <https://president.gov.by/ru/media/details/rabocaa-poezdka-v-sklovskij-rajon-mogilevskoj-oblasti> (дата обращения: 12.05.2025).
6. Гусаков, В. Г. Новейшая экономика и организация сельского хозяйства в условиях становления рынка: научный поиск, проблемы, решения / В. Г. Гусаков. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 431 с.
7. Пилипук, А. В. Институциональное пространство кластерной агропродовольственной системы Евразийского экономического союза: аспекты теории и практики / А. В. Пилипук, Е. В. Гусаков, Ф. И. Субоч. – Минск: Беларус. наука, 2016. – 265 с.
8. Гусаков, Е. Корпоративный анализ в развитии кластеризации АПК / Е. Гусаков // Аграрная экономика. – 2019. – № 2. – С. 27–32.
9. Гануш, Г. И. Методология и методика определения производственных преимуществ аграрных регионов в контексте классических экономических теорий / Г. И. Гануш // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2017. – № 4. – С. 15–24.
10. Бельский, В. И. Экономический механизм государственного регулирования сельскохозяйственного производства: теория, методология, практика / В. И. Бельский. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2018. – 265 с.
11. Киреенко, Н. В. Система сбыта продукции АПК на основе маркетингового подхода: теория, методология, практика: в 2 ч. / Н. В. Киреенко; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2015. – Ч. 1. – 265 с.
12. Сайганов, А. Теоретические основы кластеризации экономики АПК / А. Сайганов, Е. Гусаков // Аграрная экономика. – 2019. – № 12. – С. 4–8.
13. Шпак, А. П. Стратегия развития АПК Беларуси в условиях евразийской интеграции / А. П. Шпак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2016. – № 4. – С. 13–20.
14. Буздалов, И. Н. Проблемы обеспечения устойчивого развития агропродовольственной системы / И. Н. Буздалов // Общество и экономика. – 2006. – № 6. – С. 139–151.
15. Стратегические направления развития сельского хозяйства России в условиях углубления интеграции в ЕАЭС / И. Г. Ушачев, А. Г. Папцов, Н. К. Долгушкин [и др.]. – М.: Рос. акад. наук, 2017. – 48 с.
16. Пилипук, А. В. Современные аспекты и механизмы обеспечения устойчивого стратегического развития отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности в мире и в Республике Беларусь / А. В. Пилипук, С. А. Кондратенко // Белорусский экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 79–95. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2020-2-79-95>
17. Филимонова, Н. Г. Продовольственная безопасность в период пандемии COVID-19 / Н. Г. Филимонова, М. Г. Озерова // Социально-экономический и гуманитарный журнал. – 2022. – № 2. – С. 73–88. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2022-2-73-88>
18. Продовольственные системы и адаптационная политика государств Евразии в новых экономических условиях / Моск. гос. ун-т; под общ. ред. С. А. Шобы. – М.: ЕЦПБ, НИА-Природа, 2023. – 182 с.
19. Galvez-Nogales, E. Agro-based clusters in developing countries: staying competitive in a globalized economy / E. Galvez-Nogales; Food a. Agriculture Organization of the UN. – Rome: FAO, 2010. – 105 p. – URL: <https://www.fao.org/3-i1560e/i1560e.pdf> (date of access: 03.12.2024).
20. The cluster policies whitebook / T. Andersson, S. Schwaag-Serger, J. Sörvik, E. Hansson. – Malmö: Intern. Organisation for Knowledge Economy a. Enterprise Development, 2004. – 250 p. – URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/212169917> (date of access: 03.12.2024).
21. Мониторинг продовольственной безопасности – 2023: в контексте современных тенденций мирового рынка / В. Г. Гусаков, А. В. Пилипук, С. А. Кондратенко [и др.]. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2024. – 259 с.

22. Бельский, В. И. К вопросу оценки новых вызовов продовольственной безопасности / В. И. Бельский // Продовольственная безопасность Республики Беларусь в современных условиях: материалы Первого Всебелорусского форума, 12 окт. 2016 г., Минск / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; под ред. В. Г. Гусакова, А. П. Шпака. – Минск, 2016. – С. 38–51.
23. Кондратенко, С. Механизм повышения эффективности функционирования сырьевых зон агропромышленного производства / С. Кондратенко, Н. Котковец // Аграрная экономика. – 2024. – № 6. – С. 3–19. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2024-6-3-19>
24. Rupasingha, A. USDA's Value-Added Producer Grant program and its effect on business survival and growth / A. Rupasingha, J. Pender, S. Wiggins; U.S. Department of Agriculture. – [Washington]: USDA, 2018. – 32 p. – (Economic research report; no. 248). – URL: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=88838> (date of access: 03.05.2025).
25. Ловкис, З. В. Функциональные продукты питания / З. В. Ловкис, Е. М. Моргунова // Наука и инновации. – 2019. – № 12 (202). – С. 13–17.
26. Мелещеня, А. В. Белорусская молочная промышленность на мировом рынке / А. В. Мелещеня, Т. П. Шакель // Наука и инновации. – 2019. – № 10 (200). – С. 4–9.
27. Кондратенко, С. А. Направления развития пищевой промышленности Республики Беларусь / С. А. Кондратенко, Н. Н. Котковец // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию; под общ. ред. З. В. Ловкиса. – Минск: Беларус. навука, 2024. – С. 4–11.
28. Котковец, Н. Теоретические аспекты обеспечения устойчивости развития агропромышленного производства в современных условиях / Н. Котковец // Аграрная экономика. – 2025. – № 2. – С. 3–18. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2025-2-3-18>
29. Economic impact of USDA export market development programs / Informa Economics IEG. – URL: <https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2016-10/2016econimpactsstudy.pdf> (date of access: 03.05.2025).
30. Цель 2: Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/pokazateli-dostizheniya-tseley-ustoychivogo-razvitiya/natsionalnyy-perechen-pokazateley-tseley-ustoychivogo-razvitiya/tsel-2-likvidatsiya-goloda-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti-i-uluchshenie-pitaniya-i-sodey/> (дата обращения: 09.05.2025).

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. Kotkovets N. N., Kondratenko S. A. Development of production potential of agro-industrial complex of the Republic of Belarus in the context of trends in global food market. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 1, pp. 7–21 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-1-7-21>
3. Gusakov V. G., Pilipuk A. V., Kondratenko S. A., Rastorguev P. V., Gusakov G. V., Karpovich N. V. [et al.]. *Monitoring of food security for 2022, taking into account socio-economic factors*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2023. 261 p. (in Russian).
4. Kondratenko S. A., Gusakov G. V., Karpovich N. V., Gusakova I. V., Yonchik L. T., Lobanova L. A. Ensuring food security of the Republic of Belarus in the context of global trends. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no. 4, pp. 391–409 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-391-409>
5. Working visit to Shklou district, Mogilev region. *Official Internet portal of the President of the Republic of Belarus*. URL: <https://president.gov.by/ru/media/details/rabocaa-poezdka-v-sklovskij-rajon-mogilevskoj-oblasti> (accessed 12 May 2025) (in Russian).
6. Gusakov V. G. *The newest economy and organization of agriculture in the conditions of market formation: scientific search, problems, solutions*. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2008. 431 p. (in Russian).
7. Pilipuk A. V., Gusakov E. V., Suboch F. I. *Institutional space of the cluster agro-food system of the Eurasian Economic Union: aspects of theory and practice*. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2016. 265 p. (in Russian).
8. Gusakov E. Corporate analysis of the development of agribusiness clustering. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2019, no. 2, pp. 27–32 (in Russian).
9. Ganush G. I. Methodology and method of determining production advantages of agrarian regions in the context of classical economic theories. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no. 4, pp. 15–24 (in Russian).

10. Bel'skii V. I. *Economic mechanism of state regulation of agricultural production: theory, methodology, practice*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2018. 265 p. (in Russian).
11. Kireenko N. V. *Sales system of agro-industrial complex products based on the marketing approach: theory, methodology, practice: in 2 parts. Part 1*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2015. 265 p. (in Russian).
12. Saiganov A., Gusakov E. Theoretical foundations for clustering the agricultural economics. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2019, no. 12, pp. 4–8 (in Russian).
13. Shpak A. P. Strategy for AIC (Agro-Industrial Complex) development in Belarus in conditions of Eurasian integration. *Vestsi Natsyyan'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2016, no. 4, pp. 13–20 (in Russian).
14. Buzdalov I. N. Problems of ensuring stability in the development of agro-food complex. *Obshchestvo i ekonomika = Society and Economy*, 2006, no. 6, pp. 139–151 (in Russian).
15. Ushachev I. G., Paptsov A. G., Dolgushkin N. K., Serkov A. F., Maslova V. V., Chekalin V. S. *Strategic directions for the development of Russian agriculture in the context of deepening integration into the EAEU*. Moscow, Russian Academy of Sciences, 2017. 48 p. (in Russian).
16. Pilipuk A. V., Kondratenko S. A. Modern aspects and mechanisms for ensuring sustainable strategic development of food and processing industries in the world and in the Republic of Belarus. *Belorusskii ekonomicheskii zhurnal = Belarusian Economic Journal*, 2020, no. 2, pp. 79–95 (in Russian). <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2020-2-79-95>
17. Filimonova N. G., Ozerova M. G. Food security during the COVID-19 pandemic. *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyi zhurnal = Socio-Economic and Humanitarian Journal*, 2022, no. 2, pp. 73–88 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2022-2-73-88>
18. Shoba S. A. (ed.). *Food systems and adaptation policies of Eurasian states in new economic conditions*. Moscow, ECPB, NIA-Priroda Publ., 2023. 182 p. (in Russian).
19. Galvez-Nogales E. *Agro-based clusters in developing countries: staying competitive in a globalized economy*. Rome, FAO, 2010. 105 p. Available at: <https://www.fao.org/3/i1560e/i1560e.pdf> (accessed 03 December 2024).
20. Andersson T., Schwaag-Serger S., Sörvik J., Hansson E. *The cluster policies whitebook*. Malmö, International Organisation for Knowledge Economy and Enterprise Development, 2004. 250 p. Available at: <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/5954460/1304064.pdf> (accessed 03 December 2024).
21. Gusakov V. G., Pilipuk A. V., Kondratenko S. A., Rastorguev P. V., Gusakov G. V., Karpovich N. V. [et al.]. *Monitoring of food security – 2023: in the context of modern trends of the world market*. Minsk, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 2024. 259 p. (in Russian).
22. Bel'skii V. I. On the issue of assessing new challenges to food security. *Prodovol'stvennaya bezopasnost' Respubliki Belarus' v sovremennykh usloviyakh: materialy Pervogo Vsebelorusskogo foruma, 12 oktyabrya 2016 g.*, Minsk [Food security of the Republic of Belarus in modern conditions: proceedings of the First All-Belarusian forum, October 12, 2016, Minsk]. Minsk, 2016, pp. 38–51 (in Russian).
23. Kondratenko S., Kotkovets N. Mechanism of increasing the efficiency of functioning of raw material zones of agroindustrial production. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2024, no. 6, pp. 3–19 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2024-6-3-19>
24. Rupasingha A., Pender J., Wiggins S. *USDA's Value-Added Producer Grant program and its effect on business survival and growth. Economic research report*, no. 248. [Washington], USDA, 2018. 32 p. Available at: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=88838> (accessed 03 May 2025).
25. Lovkis Z. B., Morganova E. M. Functional food products. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovations], 2019, no. 12, pp. 13–17 (in Russian).
26. Meleshchenya A. V., Shakel' T. P. Belarusian dairy industry in the world market. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovations], 2019, no. 10, pp. 4–9 (in Russian).
27. Kondratenko S. A., Kotkovets N. N. Directions of development of the food industry of the Republic of Belarus. *Nauka, pitanie i zdorov'e: sbornik nauchnykh trudov* [Science, nutrition and health: a collection of scientific papers]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2024, pp. 4–11 (in Russian).
28. Kotkovets N. Theoretical aspects of ensuring the sustainability of agroindustrial production in modern conditions. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2025, no. 2, pp. 3–18 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2025-2-3-18>
29. Informa Economics IEG. *Economic impact of USDA export market development programs*. Available at: <https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2016-10/2016econimpactsstudy.pdf> (accessed 03 May 2025).
30. Goal 2: End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture. *National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Available at: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/pokazateli-dostizheniya-tseley-ustoychivogo-razvitiya/natsionalnyy-perechen-pokazateley-tseley-ustoychivogo-razvitiya/tsel-2-likvidatsiya-goloda-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti-i-uluchshenie-pitaniya-i-sodey/> (accessed 09 May 2025) (in Russian).

Інформация об авторах

Кондратенко Светлана Александровна – доктор экономических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Институт системных исследований в АПК НАН Беларусь (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0009-0003-9494-3914>. E-mail: kondratenko-0703@mail.ru

Котковец Надежда Николаевна – соискатель, Институт системных исследований в АПК НАН Беларусь (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0009-0004-5553-8796>. E-mail: Kotkovetsn1234@mail.ru

Information about the authors

Svetlana A. Kondratenko – Dr. Sc. (Economics), Associate Professor, Deputy Director for Research Work, 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/0009-0003-9494-3914>. E-mail: kondratenko-0703@mail.ru

Nadezhda N. Kotkovets – Ph. D. Student, 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/0009-0004-5553-8796>. E-mail: Kotkovetsn1234@mail.ru

ЗЕМЛЯРОБСТВА И РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 634.13:631.535:581.143.6(476)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218>

Поступила в редакцию 27.01.2025
Received 27.01.2025

Е. В. Колбанова, Н. В. Кухарчик, Т. Н. Божидай

*Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларусь, Самохваловичи,
Республика Беларусь*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭТАПА МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ *IN VITRO* СОРТОВ ГРУШИ,
РАЙОНИРОВАННЫХ В БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Объектами исследований стали 9 районированных в Республике Беларусь сортов груши, в том числе 8 белорусской селекции (Белорусская поздняя, Вилия, Завея, Купала, Просто Мария, Спакуса, Ясачка (*P. communis* × *P.× ussuriensis*), Кудесница (*P. communis* × *P.× pyrifolia*)) и 1 интродуцированный сорт Талгарская красавица (*P. communis* × *P.× pyrifolia*). Определены оптимальные питательные среды для размножения груши: для сортов Купала, Просто Мария и Ясачка – агаризованная среда DKW; для сортов Спакуса, Талгарская красавица, Белорусская поздняя, Кудесница – DKW и модифицированная среда MS (содержание NH_4NO_3 уменьшено до $\frac{1}{4}$). Оптимальная концентрация 6-БА для размножения сортов груши составила 1,0 мг/л. Повышение концентрации 6-БА до 2,0 мг/л позволяет увеличивать количество побегов на экспланте, но уменьшает высоту побегов (т. е. пригодность к укоренению) и вызывает появление узких и неразвернутых листьев с признаками витрификации. Стимуляция роста пазушных почек и повышение коэффициента размножения всех изученных сортов груши с сохранением качества побегов может быть достигнута путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтальным расположением (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде. Использование сосудов для культивирования большого объема (250–450 мл) положительно влияет на скорость пролиферации сортов груши.

Ключевые слова: *Pyrus, in vitro*, питательная среда, DKW, MS, коэффициент размножения

Для цитирования: Колбанова, Е. В. Оптимизация этапа микrorазмножения *in vitro* сортов груши, районированных в Беларуси / Е. В. Колбанова, Н. В. Кухарчик, Т. Н. Божидай // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 204–218. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218>

Elena V. Kolbanova, Natallia V. Kukharchyk, Tatsiana N. Bazhydai

Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus, Samokhvalovichy, Republic of Belarus

**OPTIMIZATION OF *IN VITRO* MICROPOLLINATION STAGE OF PEAR
VARIETIES REGIONALIZED IN BELARUS**

Abstract. The objects of the study were 9 pear varieties regionalized in the Republic of Belarus including 8 varieties of Belarusian selection (Belorusskaya pozdnaya, Viliya, Zaveya, Kupala, Prosto Maria, Spakusa, Yasachka (*P. communis* × *P.× ussuriensis*), Kudesnitsa (*P. communis* × *P.× pyrifolia*)) and 1 introduced variety Talgarskaya krasavitsa (*P. communis* × *P.× pyrifolia*). Optimal nutrient media for pear propagation were determined: agarized DKW medium for varieties Kupala, Prosto Maria and Yasachka, and DKW and modified MS medium (the NH_4NO_3 content was reduced to $\frac{1}{4}$) for varieties Spakusa, Talgarskaya krasavitsa, Belorusskaya pozdnaya, and Kudesnitsa. The optimal concentration of 6-BA for propagation of pear varieties made 1.0 mg/l. Increasing the concentration of 6-BA to 2.0 mg/l allows increasing the number of shoots per explant, but reduces the height of the shoots (i. e. readiness for rooting) and results in narrow and unexpanded leaves with symptoms of vitrification. Stimulation of growth of axillary buds and increase in propagation coefficient of all studied pear varieties, maintaining the quality of the shoots, can be achieved by removing the apical bud and leaves of microshoots and placing them horizontally (shoot length 1.5–2 cm) on nutrient medium. The use of large-volume culture vessels (250–450 ml) has a positive effect on proliferation rate of pear varieties.

Keywords: *Pyrus, in vitro*, nutrient medium, DKW, MS, propagation coefficient

For citation: Kolbanova E. V., Kukharchyk N. V., Bazhydai T. N. Optimization of *in vitro* micropropagation stage of pear varieties regionalized in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 204–218 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218>

Введение. Наиболее часто используемая среда для микроразмножения представителей рода *Pyrus* – среда Мурасиге и Скуга (MS). Она успешно использовалась для размножения сортов *P. communis* William's Bon Chrétien, Packam's Triumph, Beurré Bosc [1], Conference [2–4], Abate Fétel, Decana del Comizio [3], Doyenné d'Hiver [4], Bartlett [5], Seckel [6–8], Koporecka [9], Barburíña, Manteca Oscura [10], сорта *P. serotina* Hosui и сортов *P. communis* La France и Bartlett × La France [11], сортов *P. communis* Выжница, Львовский сувенир, Роксолана, Христианка, Черемшина, Этюд [12], мутации сорта Dr. Jules Guyot *P. communis* [13], сорта *P. communis* Carrick, сортов Garber (*P. communis* × *P. pyrifolia*), Smith (*P. communis* × *P. pyrifolia*) [14], подвоя *P. communis* Pyrodwarf [15, 16], сортов *P. pyrifolia* Hosui, Kosui, Nijisseiki, Shinseiki, Shinsu [17], дикой груши *P. syrica* [18], *P. betulaefolia* и *P. ussuriensis* [19], сеянцев *P. calleryana* [20], подвоя *P. calleryana* D-6 [21, 22]. Ряд авторов использовали модифицированную среду MS. В [23] изложен опыт применения для размножения трех подвоев *P. communis* – OH × F69, OH × F40 и OH × F87 среди MS с половинной концентрацией NH_4NO_3 и KNO_3 . А. С. Дантас с соавторами [24] при размножении сорта *P. communis* Red Bartlett и сортов *P. pyrifolia* Hosui, Nijisseiki уменьшали количество азота в среде MS до $\frac{3}{4}$.

Хотя в большинстве случаев для микроразмножения груши используют среду MS, имеются сообщения об использовании других сред: Лепуавра, Ченга и Woody Plant Media (WPM). Среду Лепуавра [25] использовали для микроразмножения сортов *P. communis* Passe-Crassane и Williams (Bartlett) [26–28]. В [29] исследователи отмечают, что среда Лепуавра для микроразмножения сортов *P. communis* Rocha и Williams лучше, чем MS. С. Моретти с соавторами использовали для пролиферации сортов *P. communis* Kaiser, Max Red Bartlett, Williams питательную среду, состоящую из макросолей по Лепуавра и микросолей по MS [30]. В [31] были оценены среды Ченга и WPM, содержащие ряд концентраций БА, НУК и ИМК для размножения трех подвоев *P. calleryana* – OPR 157, OPR 260 и *P. communis* OH × F230. Среда Ченга с 8 μM БА лучше всего подходит для размножения всех генотипов, но типы ауксинов разнообразны: для OPR 260 и OH × F230 – 0,5 μM ИМК, OPR 157 – 0,5 μM НУК или без добавления ауксина. Среды Ченга и Лепуавра оказались более эффективными для микроразмножения подвоев *P. communis* (OH × F 34, 40, 69, 87, 217, 230), чем среды MS и Viseur [32]. В работе [33] автор использовал среду Ченга для микроразмножения 49 видов и сортов *Pyrus*. Среда WPM [34] с добавлением 2 μM БА и 0,5 μM ИМК оптимальна для пролиферации сорта *P. calleryana* Bradford [35]. Согласно [36] среда WPM была лучшей средой для пролиферации *P. pyrifolia* сортов Nijisseiki, Osa-nijisseiki, для других генотипов (Kosui, Hosui, Yagumo, Shinsu) требовалось уменьшение солей наполовину. Аналогичным образом среда WPM была более эффективна для пролиферации побегов сорта *P. pyrifolia* Gola, чем среда MS [37]. Исследователи в [38] отметили высокие коэффициенты размножения (11,2) дикой груши *P. pyrifolia* как на среде WPM, так и на среде MS (10,21), обе среды были дополнены БА (1,5 мг/л) и ИМК (0,5 мг/л). В [39] учёные сравнили 2 минеральные среды MS (полная и $\frac{1}{2}$ солей) и WPM, дополненные 2,5 мг/л БА, 0,1 мг/л ИМК, с и без 0,3 % активированного угля и выявили, что минеральная основа среды не влияет на пролиферацию побегов *P. pyrifolia* сорт Hosui, а вот активированный уголь очень сильно ингибировал образование пазушных побегов. В [40] при микроразмножении *P. pyrifolia* сортов Kosui и Hosui использовали среду WPM.

Цель исследования – оптимизировать этап микроразмножения *in vitro* сортов груши белорусского сортимента.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства» в 2018–2024 гг. Объекты исследований: 9 районированных в Республике Беларусь сортов груши, из них 8 белорусской селекции: Белорусская поздняя, Вилья, Завея, Купала, Просто Мария, Спакуса, Ясачка (*P. communis* × *P.× ussuriensis*), Кудесница (*P. communis* × *P.× pyrifolia*) и 1 интродуцированный сорт Талгарская красавица (*P. communis* ×

P.x pyrifolia). Происхождение сортов приведено по данным сотрудников РУП «Институт плодо-водства» [41–49].

Питательные среды. Модифицированная агаризованные питательная среда MS: макро- и микросоли, FeNa-EDTA по MS, за исключением NH_4NO_3 , – $\frac{1}{4}$ по MS, витамины B_1 , B_6 , PP – по 0,5 мг/л, витамин С – 1,5 мг/л, мезоинозит – 100 мг/л, с добавлением 6-бензиладенина (6-БА) в концентрациях 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, pH 5,8.

Питательная агаризованные среда WPM: макро- и микросоли, FeNa-EDTA, витамины по WPM, с добавлением 6-БА в концентрациях 0,5; 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, pH 5,8.

Питательная среда Driver and Kuniyuki Walnut (DKW) medium [50]: макро- и микросоли по DKW, Ferric-EDDHA (*Duchefa Biochemie*) – 100 мг/л, витамины по DKW, с добавлением 6-БА в концентрациях 0,5; 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, агар – 5,8 г/л или Gelrite (*Duchefa Biochemie*) – 2,5 г/л, pH 5,5.

Автоклавирование сред проводили в течение 15 мин после добавления регуляторов роста и витаминов при 0,9–1 атм.

Условия культивирования: освещение (лампы NARVA LT, 36 W) – 2,5–3 тыс. лк, температура – 20–22 °C и фотопериод – 16/8 ч. Микропобеги на протяжении 1–7-го пассажей культивировали в пробирках размером 220 × 22 мм с объемом питательной среды 10 мл, в дальнейших пассажах – в стеклянных банках объемом 250 и 450 мл с количеством питательной среды 60 и 80 мл соответственно. В каждую банку высаживалось по 10 микропобегов, в пробирку – 1 микропобег. Длительность субкультивирования – 6 недель.

Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10.0, используя ANOVA, однофакторный и многофакторный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних величин ($n = 3$).

Результаты и их обсуждение. Микроразмножение (1–7-й пассажи) на модифицированной питательной среде MS. В течение первых 6 пассажей после введения в культуру *in vitro* все сорта груши культивировались на модифицированной агаризованный среде MS (концентрация NH_4NO_3 уменьшена в 4 раза), дополненной 6-БА в концентрации 2,0 мг/л, которая разработана в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства» для размножения клоновых подвоев груши [51]. Для сортов Спакуса, Белорусская поздняя и Талгарская красавица этап стабилизации культуры *in vitro* составил 2 пассажа, уже в 3-м пассаже у этих сортов 28,3–51,5 % побегов были пригодны к укоренению (высота более 2–3 см) и коэффициент размножения варьировал от 3,1 до 3,5 в зависимости от сорта. У сорта Спакуса на последующих 4–6-м пассажах коэффициент размножения составил 3,5–3,8 и количество побегов, пригодных к укоренению достигало 53,0 %. У сортов Белорусская поздняя и Талгарская красавица на протяжении 4–6-го пассажей коэффициент размножения был 3,5–4,5 и 2,2–3,1 соответственно, количество побегов, пригодных к укоренению, достигало 41,9 % у сорта Белорусская поздняя и 54,2 % у сорта Талгарская красавица. У сорта Купала этап стабилизации культуры *in vitro* был продолжительностью 3 пассажа, на 4–6-м пассажах при коэффициенте размножения 3,3–4,9 процент побегов, пригодных к укоренению, колебался от 28,3 до 31,9. У сорта Просто Мария этап стабилизации культуры *in vitro* длился 4 пассажа, на протяжении 5–6-го пассажей коэффициент размножения не превысил 2,3, доля побегов, пригодных к укоренению, составляла 8,8–12,6 %. У сорта Кудесница этап стабилизации культуры *in vitro* сортов Вилия, Завея и Ясачка на модифицированной агаризованный среде MS, дополненной 6-БА в концентрации 2,0 мг/л, достигнуть не удалось: сорта Вилия и Завея погибли в течение первых 2 пассажей, у сорта Ясачка коэффициент размножения достиг 2,0 только к 6-му пассажу при отсутствии побегов, пригодных к укоренению. Таким образом, для сорта Ясачка питательная среда на основе минерального состава MS непригодна (табл. 1).

На протяжении 7-го пассажа микропобеги сортов груши культивировались в двух видах сосудов: пробирка (220 × 22 мм) и стеклянная банка ($V = 250$ мл). Среда для культивирования оставалась такой же, как и на протяжении предшествующих 6 пассажей: модифицированная

Таблица 1. Эффективность стабилизации культуры *in vitro* сортов груши на протяжении 1–6-го пассажей после введения в культуру *in vitro*

Table 1. Efficiency of *in vitro* crop stabilization of pear varieties during 1–6 passages after initiation to *in vitro* crop

Сорт	Пассаж	Коэффициент размножения	Доля побегов, пригодных к укоренению, %
Белорусская поздняя	1	1,0*	0
	2	2,5 ± 0,2	0
	3	3,5 ± 0,3	33,0 ± 1,7
	4	4,3 ± 0,3	22,8 ± 1,1
	5	4,5 ± 0,1	31,9 ± 1,8
	6	3,6 ± 0,1	41,9 ± 2,5
Вилия	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
Завея	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
Кудесница	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
	3	3,0*	0
	4	2,8*	0
	5	3,4 ± 0,3	0
	6	2,6 ± 0,2	18,9 ± 2,0
Купала	1	1,0*	0
	2	2,0*	0
	3	3,4 ± 0,2	0
	4	4,9 ± 0,1	28,3 ± 2,7
	5	3,6 ± 0,2	31,9 ± 2,3
	6	3,3 ± 0,1	30,0 ± 4,7
Просто Мария	1	1,0*	0
	2	3,1*	0
	3	3,2 ± 0,3	0
	4	2,0 ± 0,1	0
	5	1,9 ± 0,03	12,6 ± 1,2
	6	2,3 ± 0,2	8,8 ± 0,9
Спакуса	1	1,0*	0
	2	3,4 ± 0,2	0
	3	3,8 ± 0,1	28,3 ± 3,3
	4	3,5 ± 0,2	36,3 ± 1,2
	5	3,8 ± 0,3	21,8 ± 2,8
	6	3,7 ± 0,1	53,0 ± 4,7
Талгарская красавица	1	1,0*	0
	2	2,5 ± 0,2	0
	3	3,1 ± 0,1	51,5 ± 4,1
	4	2,6 ± 0,1	48,3 ± 4,5
	5	3,0 ± 0,2	54,2 ± 3,8
	6	2,2 ± 0,03	47,1 ± 4,2
Ясачка	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
	3	1,3*	0
	4	1,5*	0
	5	1,7*	0
	6	2,0*	0

Причание. Данные отображены следующим образом: среднее значение ± стандартная ошибка.

* Количество микропобегов, недостаточное для статистической обработки.

Note. Data are shown as mean ± standard error.

* The number of microshoots, insufficient for statistical processing.

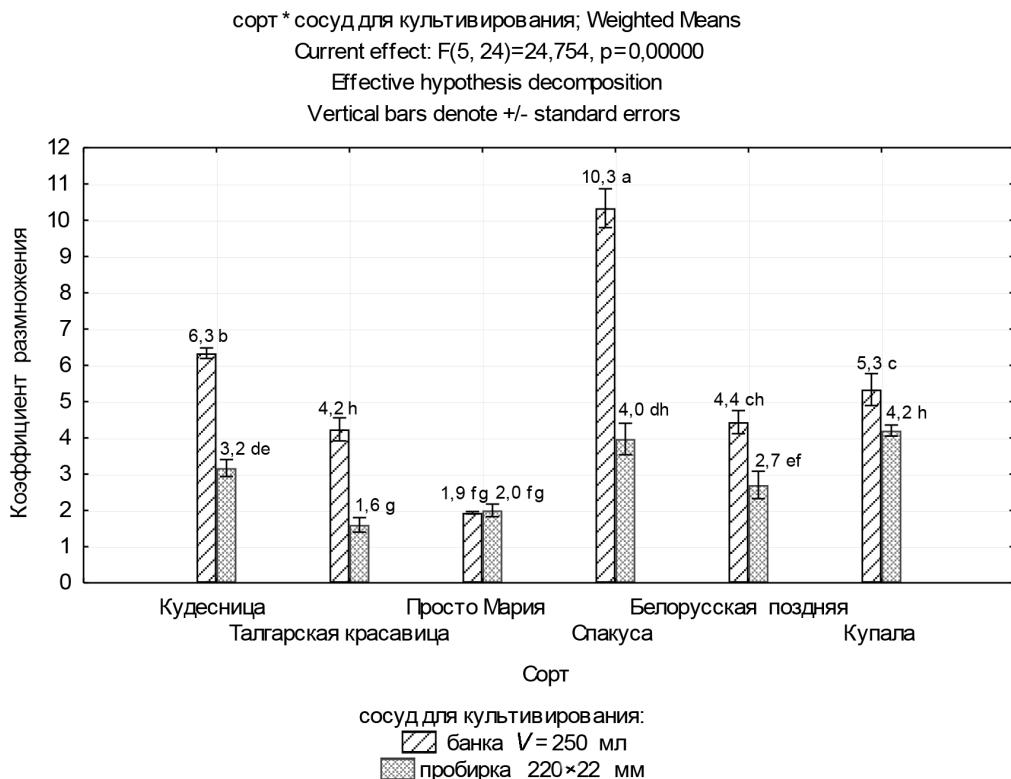


Рис. 1. Коэффициент размножения сортов груши при использовании двух видов сосудов для культивирования *in vitro* (модифицированная агаризованная среда MS с 2,0 мг/л 6-БА)

Fig. 1. Propagation coefficient of pear varieties using two types of *in vitro* cultivation vessels (modified agarized medium with 2.0 mg/l of 6-BA)



Рис. 2. Узкие, неразвернутые листья, некроз верхушечной почки у микропобегов сорта Спакуса на модифицированной агаризованной среде MS с 2,0 мг/л 6-БА

Fig. 2. Narrow, unexpanded leaves, necrosis of apical bud in microshoots of variety Spakusa on modified agarized MS medium with 2.0 mg/l of 6-BA

агаризованная среда MS, дополненная 6-БА в концентрации 2,0 мг/л. Эффективность микроразмножения на 7-м пассаже с высокой степенью достоверности ($p < 0,0001$) определялась генотипом растения, видом сосуда для культивирования и двумя факторами вместе. У сортов Спакуса, Талгарская красавица, Кудесница, Белорусская поздняя и Купала увеличение сосуда для культивирования положительно сказалось на скорости пролиферации. Коэффициент размножения увеличился в 1,3 раза у сорта Купала, в 1,6 раза – у сорта Белорусская поздняя, в 2,0 раза – у сорта Кудесница, в 2,6 раза – у сортов Спакуса и Талгарская красавица. Только у сорта Просто Мария увеличение объема сосуда для культивирования не оказалось положительного влияния на скорость пролиферации (рис. 1). (Данные с одинаковыми буквами статистически не различаются при $p < 0,05$ (критерий Дунканна); то же на рисунках 2, 4, 5.)

Следует отметить, что к 7-му пассажу длительное культивирование микропобегов (на протяжении 1–7-го пассажей) на среде с высокой концентрацией 6-БА (2,0 мг/л) привело к ухудшению качества побегов у всех сортов: появились признаки витрификации, узкие и неразвернутые листья, некроз верхушечной почки (рис. 2).

Уменьшение концентрации 6-БА до 1,0 мг/л снизило скорость пролиферации до 1,9–5,5 побега на эксплант в зависимости от сорта, но увеличило количество побегов (85–87 %) с нормальными листьями (рис. 3).

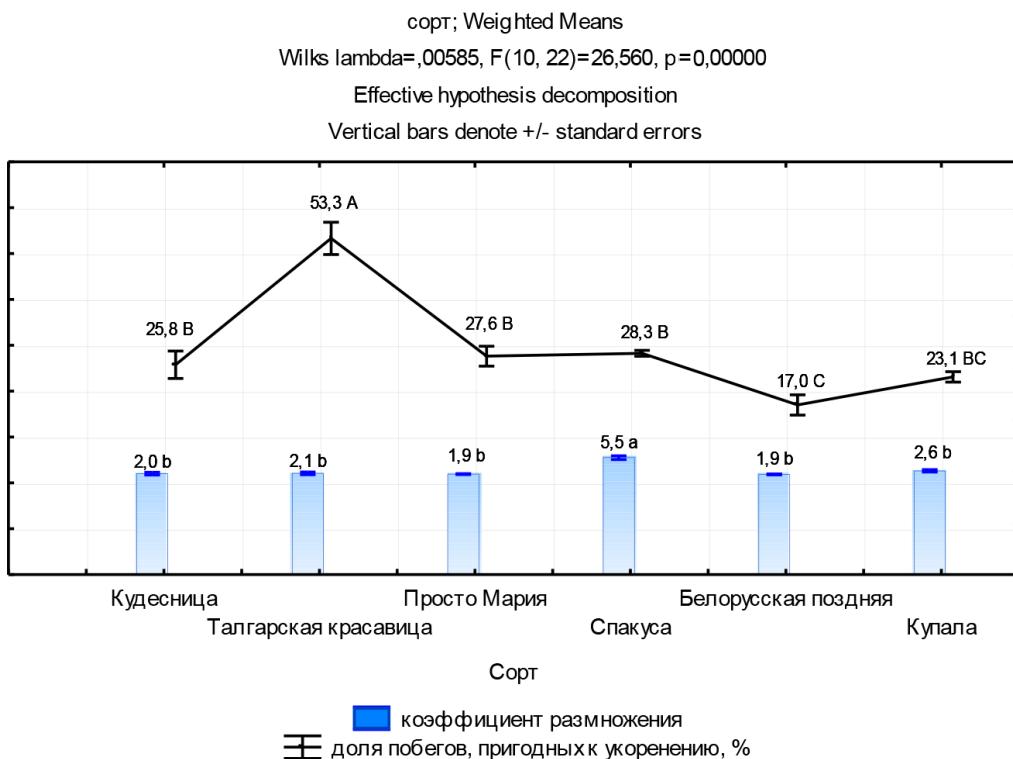


Рис. 3. Коэффициент размножения сортов груши при культивировании на модифицированной агаризованной среде MS, дополненной 1,0 мг/л 6-БА (сосуд для культивирования – банка $V = 250$ мл)

Fig. 3. Propagation coefficient of pear varieties cultivated on modified agarized MS medium supplemented with 1.0 mg/l of 6-BA (cultivation vessel – 250 ml jar)

Возникновение аномальных фенотипов во время размножения микропобегов представителей рода *Pyrus* было отмечено многими авторами. Повышение концентрации БА увеличивает количество побегов на экспланте у сортов *P. communis* Kaiser, Max Red Bartlett, Williams, но уменьшает количество побегов с нормальными листьями [30]. В [5] сообщается, что 10 μM БА вызывает витрификацию побегов сорта *P. communis* Bartlett. При использовании БА в концентрации 2 мг/л наблюдали витрификацию и мельчание побегов у сорта *P. communis* Passe Crassane [26]. Исследователи в [9] отмечают, что концентрация БА 2 мг/л вызывала у сорта *P. communis* Корогеска образование коротких побегов (0–0,5 см), большая часть которых (86,7 %) имела узкие и неразвернутые листья. В работе [2] отмечается положительная корреляция между концентрацией БА и скоростью размножения побегов у сорта Conference, однако при высоких концентрациях БА (2 и 4 мг/л), наряду с высоким коэффициентом размножения (11,9–12,1), возникали проблемы апикального некроза. При низких концентрациях БА (2,2 и 4,4 μM) у растений сортов Conference и Doyenné d'Hiver не отмечено витрификации, тогда как при концентрации 8,8 μM доля витрифицированных побегов составила 10–16 %, и при максимальной концентрации БА (17,6 μM) этот показатель увеличился до 30–40 % [4]. Увеличение концентрации БА до 1,5–2,0 мг/л значительно усиливало пролиферацию побегов груши дикой *P. syriaca* (при 1,0 мг/л БА коэффициент размножения – 3,0, а при 1,5 и 2,0 мг/л БА – 7,6 и 5 соответственно), но уменьшало высоту побегов и вызвало измельчение листьев, фасциацию не наблюдали [18].

Микроразмножение на питательной среде WPM. Микроразмножение груши сортов Спакуса, Белорусская поздняя, Талгарская красавица на питательной среде WPM показало, что питательная среда данного минерального состава не является пригодной для культивирования

сортов груши. Рост пазушных почек отсутствовал (коэффициент размножения – 1,0), и наблюдалась гибель микропобегов у сорта Спакуса до 58,3 %, у сорта Белорусская поздняя до 100 % и у сорта Талгарская красавица до 78,0 % (табл. 2).

Таблица 2. Результативность размножения сортов груши на питательной среде WPM с различной концентрацией 6-БА

Table 2. Efficiency of propagation of pear varieties on WPM nutrient medium with different 6-BA concentration

Сорт	Концентрация 6-БА	Количество некротировавших побегов, %	Коэффициент размножения
Спакуса	0,5	45,6 ± 3,8 ab	1,0
	1,0	54,8 ± 1,6 bcd	1,0
	2,0	58,3 ± 1,5 cd	1,0
Белорусская поздняя	0,5	63,9 ± 3,7 d	1,0
	1,0	85,2 ± 3,1 e	1,0
	2,0	100 ± 0 f	–
Талгарская красавица	0,5	37,0 ± 6,5 a	1,0
	1,0	47,7 ± 5,2 abc	1,0
	2,0	78,0 ± 3,5 e	1,0
Влияние фактора «сорт»		$p < 0,0001$	–
Влияние фактора «концентрация 6-БА»		$p < 0,0001$	–
Влияние двух факторов вместе (сорт * концентрация 6-БА)		$p < 0,01$	–

Примечание. Данные с одинаковыми буквами статистически не различаются при $p < 0,05$ (критерий Дункана).
Note. Data with the same letters are not statistically different at $p < 0,05$ (Duncan criterion).

Микроразмножение на питательной среде DKW. Изучали возможность использования питательной среды DKW для культивирования сортов груши. В качестве затвердевающего агента использовался агар и Gelrite. Выявлено, что на коэффициент размножения влияют с высоким уровнем значимости ($p < 0,0001$) сортовые особенности, концентрация 6-БА, два фактора вместе (сорт * концентрация 6-БА; сорт * затвердевающий агент; концентрация 6-БА * затвердевающий агент), а также три фактора вместе (сорт * концентрация 6-БА * затвердевающий агент). Статистический анализ не выявил влияния затвердевающего агента на коэффициент размножения сортов груши. С увеличением концентрации 6-БА от 0,5 до 2,0 мг/л как при использовании агара, так и Gelrite коэффициент размножения увеличивается, но есть различия по сортам. У сортов Спакуса и Купала уже при небольшой концентрации 6-БА (0,5 мг/л) отмечен высокий коэффициент размножения – 3,1–3,2 и 4,1–4,6 соответственно, а при повышении концентрации до 2,0 мг/л коэффициент размножения увеличивается до 8,9 (Спакуса) и 7,4–7,8 (Купала). Низкая регенерационная активность отмечена для сорта Талгарская красавица: максимальный коэффициент размножения (2,0) получен при концентрации 6-БА 1,0 мг/л при использовании агара. У сортов Просто Мария, Кудесница, Белорусская поздняя, Ясачка коэффициент размножения при 0,5 мг/л 6-БА колебался от 1,1 до 2,3 в зависимости от сорта, повышение концентрации до 2,0 мг/л позволило получить коэффициент размножения 4,2–4,4 (Просто Мария), 3,3–4,0 (Ясачка), 2,9–3,3 (Кудесница), 2,4 (Белорусская поздняя) (рис. 4).

Статистическая обработка данных показала влияние всех факторов – сорт ($p < 0,0001$), концентрация 6-БА ($p < 0,0001$), затвердевающий агент ($p < 0,01$), сорт * концентрация 6-БА ($p < 0,001$), сорт * затвердевающий агент ($p < 0,001$), концентрация 6-БА * затвердевающий агент ($p < 0,001$), сорт * концентрация 6-БА * затвердевающий агент ($p < 0,001$) – на процент побегов, пригодных к укоренению (высота больше 2–3 см). Установлено, что повышение концентрации 6-БА увеличивает количество побегов на экспланте, но уменьшает высоту побегов, а тем самым и количество побегов, пригодных к укоренению. Следует также отметить, что использование 6-БА в концентрации 2,0 мг/л ведет к ухудшению качества побегов: около 50 % побегов у всех сортов при этой концентрации 6-БА на среде, содержащей агар, имеют признаки витрификации, узкие и неразвернутые листья; на среде, содержащей Gelrite, этот процент побегов увеличивается до 70–80 (рис. 5). Количество аномальных фенотипов при использовании концентрации 1,0 мг/л 6-БА на среде, содержащей агар, не превышает 9 %, на среде, содержащей Gelrite,

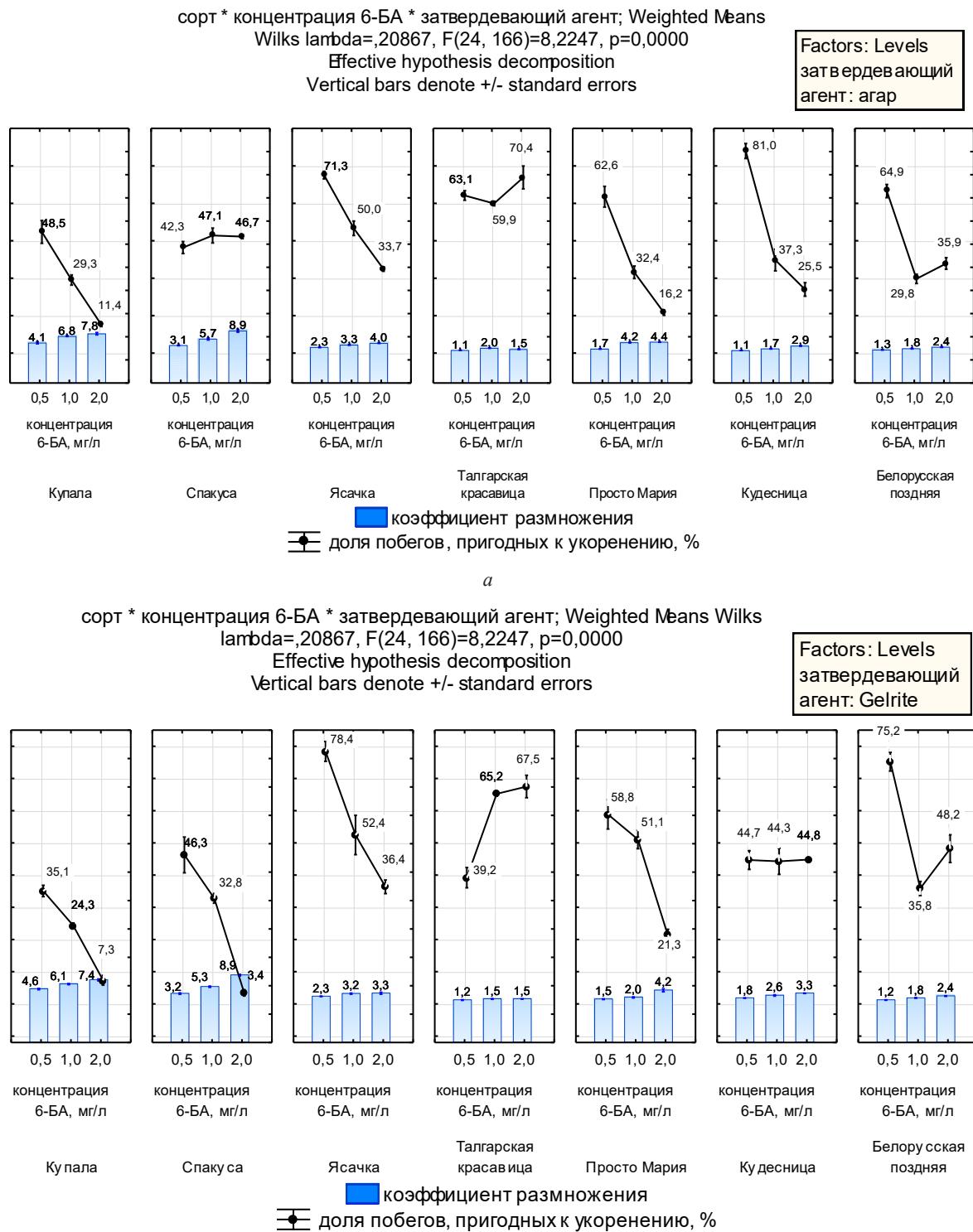


Рис. 4. Результативность размножения сортов груши на питательной среде DKW при использовании в качестве затвердевающего агента агар (a) и Gelrite (b)

Fig. 4. Efficiency of propagation of pear varieties on DKW nutrient medium using agarized (a) and Gelrite (b) as solidifying agent

данный показатель достигал 33–40 %. Таким образом, оптимальным является культивирование побегов сортов груши на агаризованной среде DKW с добавлением 6-БА в концентрации 1,0 мг/л, что дает высокий коэффициент размножения и хорошее качество побегов (без витрификации) для укоренения и дальнейшего размножения сортов: Купала – коэффициент размножения 6,8 (29,3 % побегов, готовых к укоренению), Спакуса – 5,7 (47,1 %), Просто Мария – 4,2 (32,4 %), Ясачка – 3,3 (50 %), Талгарская красавица – 2,0 (59,9 %), Белорусская поздняя – 1,8 (29,8 %), Кудесница – 1,7 (37,3 %).

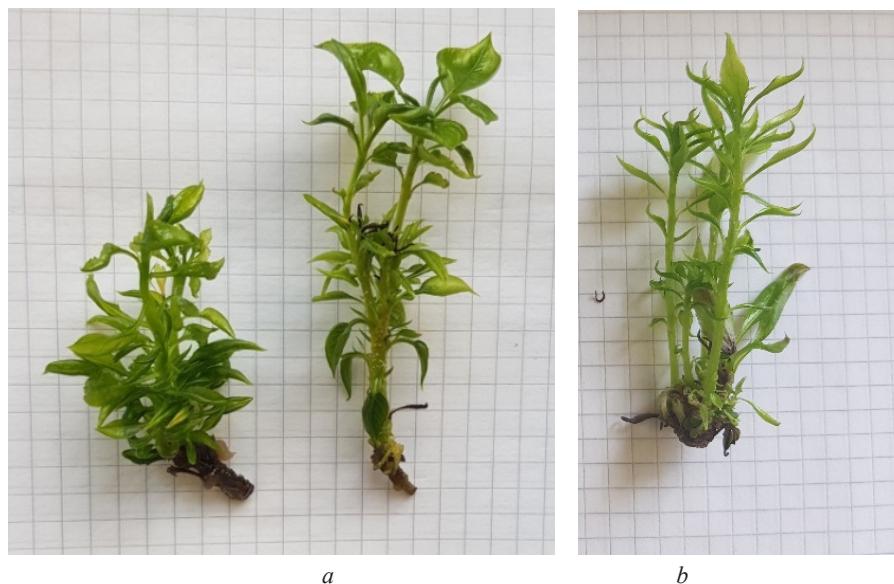


Рис. 5. Микропобеги сортов Купала (а) и Ясачка (б) с признаками витрификации, с узкими и неразвернутыми листьями на среде DKW, содержащей Gelrite с 2,0 мг/л 6-БА

Fig. 5. Microshoots of Kupala (a) and Yasachka (b) varieties with symptoms of vitrification, with narrow and unexpanded leaves on DKW medium containing Gelrite with 2.0 mg/l of 6-BA

Повысить эффективность размножения всех изучаемых сортов груши на среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА с сохранением качества побегов (без витрификации) можно путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтального расположения (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде, что стимулирует рост пазушных почек (рис. 6). На коэффициент размножения оказывают влияние сорт ($p < 0,0001$), расположение побега на среде ($p < 0,0001$) и два этих фактора вместе ($p < 0,05$). Удаление верхушечной почки и горизонтальное расположение побега на среде позволило увеличить коэффициент размножения в 1,5 раза у сорта Купала, в 1,7 раза у сортов Ясачка, Талгарская красавица, в 1,8 раза у сортов Спакуса, Просто Мария, Кудесница, в 2,8 раза у сорта Белорусская поздняя (рис. 7). Аналогичный прием успешно использовался при размножении сортов *P. communis* L. Bartlett [5], Conference и Doyenné d'Hiver [4].



Рис. 6. Горизонтальное расположением побега сорта Купала на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА для стимулирования роста пазушных почек

Fig. 6. Horizontal placement of variety Kupala shoot on agarized DKW nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA for stimulation of growth of axillary buds

По регенерационной активности изучаемые сорта груши разделены на три группы: с высокой регенерационной активностью (Спакуса, Купала), средней (Просто Мария, Ясачка) и низкой (Кудесница, Талгарская красавица, Белорусская поздняя) (рис. 8).

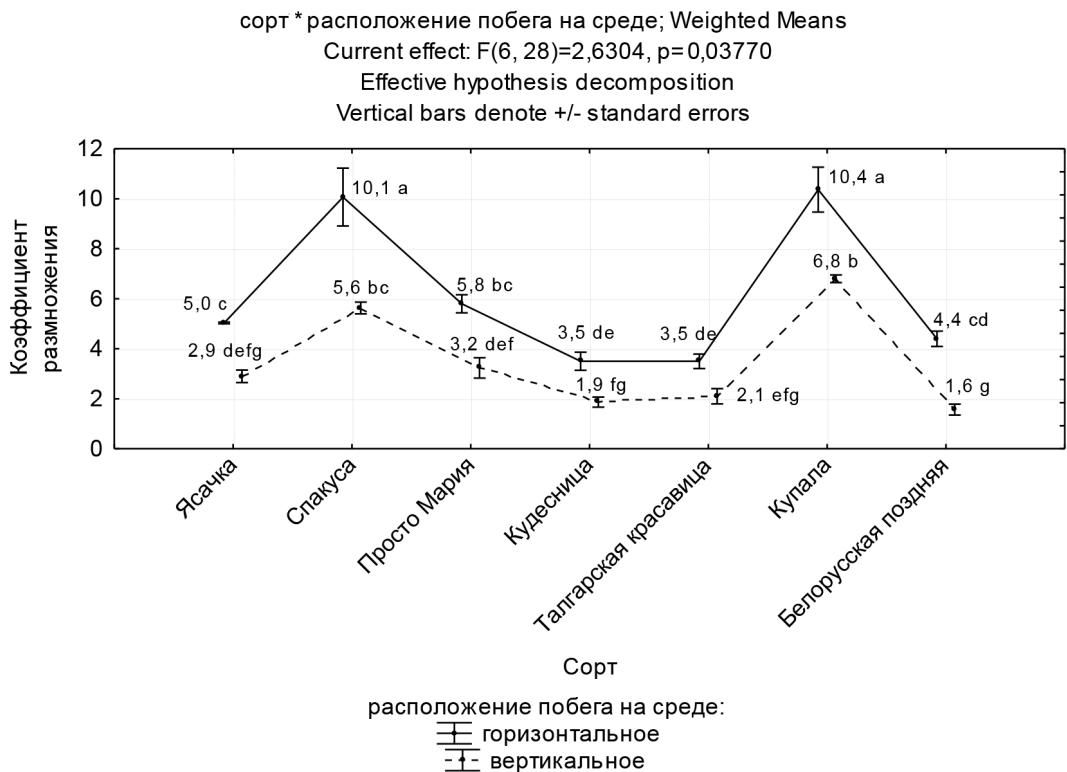


Рис. 7. Коэффициент размножения сортов груши при использовании двух вариантов расположения побегов на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА

Fig. 7. Propagation coefficient of pear varieties using two variants of shoot placement on DKW agarized nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA

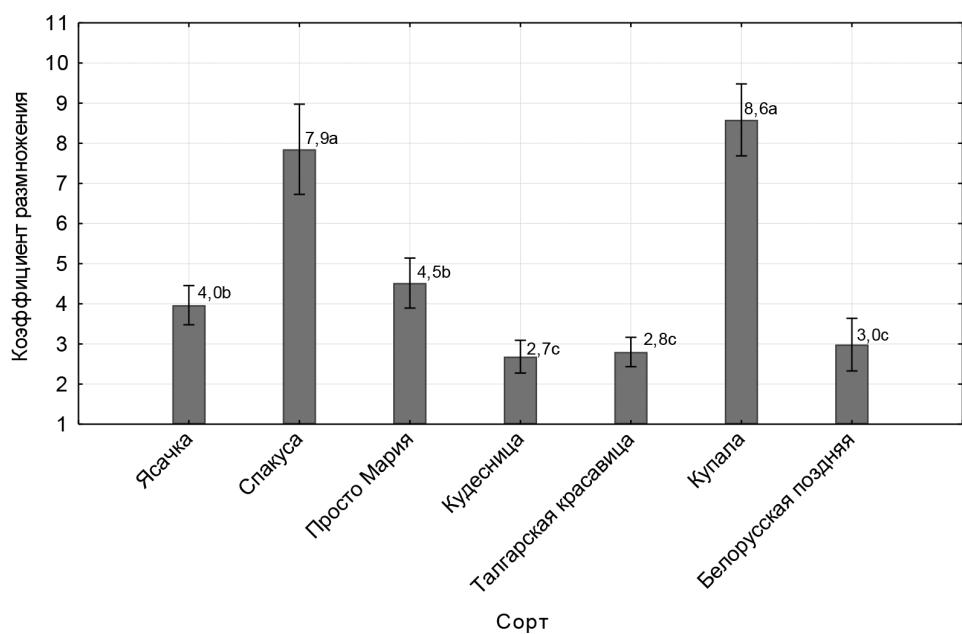


Рис. 8. Регенерационная активность сортов груши (среднее по фактору «сорт») на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА без учета фактора «расположение побега на среде»

Fig. 8. Regeneration activity of pear varieties (average by factor “variety”) on DKW agarized nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA without taking into account factor “shoot placement on the medium”

Выводы. Оптимальной концентрацией 6-БА для размножения сортов груши является концентрация 1,0 мг/л. Повышение концентрации 6-БА до 2,0 мг/л приводит к увеличению количества побегов на экспланте, но уменьшает высоту побегов (т. е. пригодность к укоренению) и вызывает появление узких и неразвернутых листьев с признаками витрификации.

Оптимальной средой для размножения сортов груши Купала, Просто Мария и Ясачка является агаризованная среда DKW, дополненная 6-БА в концентрации 1,0 мг/л, обеспечивающая сочетание высокой скорости пролиферации и качества образующихся побегов (без витрификации) для укоренения и дальнейшего размножения: Купала – коэффициент размножения – 6,8 (29,3 % побегов, готовых к укоренению), Просто Мария – 4,2 (32,4 %), Ясачка – 3,3 (50 %). У сортов Спакуса, Талгарская красавица, Белорусская поздняя, Кудесница высокий коэффициент размножения с хорошим качеством побегов обеспечивают агаризованные среды двух разных минеральных составов: DKW и модифицированная среда MS (содержание NH_4NO_3 уменьшено до $\frac{1}{4}$), дополненные 6-БА в концентрации 1,0 мг/л. Коэффициент размножения на среде DKW у сортов следующий: Спакуса – 5,7 (47,1 % побегов, готовых к укоренению), Талгарская красавица – 2,0 (59,9 % побегов, готовых к укоренению), Белорусская поздняя – 1,8 (29,8 % побегов, готовых к укоренению), Кудесница – 1,7 (37,3 % побегов, готовых к укоренению). Коэффициент размножения на модифицированной среде MS у сорта Спакуса – 5,5 (28,3 % побегов, готовых к укоренению), Талгарская красавица – 2,1 (53,3 % побегов, готовых к укоренению), Белорусская поздняя – 1,9 (17,0 % побегов, готовых к укоренению), Кудесница – 2,0 (25,8 % побегов, готовых к укоренению).

Питательная среда WPM непригодна для культивирования сортов груши Белорусская поздняя, Спакуса, Талгарская красавица.

По регенерационной активности изучаемые сорта груши разделены на три группы: с высокой регенерационной активностью (Спакуса, Купала), средней (Просто Мария, Ясачка) и низкой (Кудесница, Талгарская красавица, Белорусская поздняя).

Стимулировать рост пазушных почек и увеличить коэффициент размножения всех изученных сортов груши с сохранением качества побегов (без витрификации, с нормально развернутыми листьями) можно путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтального расположения (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде.

Использование сосудов для культивирования большого объема (250–450 мл) положительно влияет на скорость пролиферации сортов груши.

Список использованных источников

1. Shen, X.-S. Propagation in vitro of pear, *Pyrus communis* L., cultivars ‘William’s Bon Chrétien’, ‘Packham’s Triumph’ and ‘Beurré Bosc’ / X.-S. Shen, M. G. Mullins // Scientia Horticulturae. – 1984. – Vol. 23, № 1. – P. 51–57. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90044-X)
2. Bavieria, J. A. Commercial in vitro microppropagation of pear cv. Conference / J. A. Bavieria, J. L. García, M. Ibarra // Acta Horticulturae. – 1989. – № 256. – P. 63–68. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.256.5>
3. De Paoli, G. Micropopagatione delle varietà di pero / G. De Paoli // Informatore Agrario. – 1987. – Vol. 43, № 51. – P. 71–73.
4. Predieri, S. In vitro propagation of compact pear clones / S. Predieri, M. Govoni // Acta Horticulturae. – 1998. – № 475. – P. 127–132. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.475.15>
5. Lane, W. D. Regeneration of pear plants from shoot meristem tips / W. D. Lane // Plant Science Letters. – 1979. – Vol. 16, № 2–3. – P. 337–342. [https://doi.org/10.1016/0304-4211\(79\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0304-4211(79)90046-4)
6. Singha, S. In vitro propagation of Seckel pear / S. Singha // Nursery production of fruit plants through tissue culture: application and feasibility: proc. of the conf., Beltsville, 21–22 Apr. 1980 / U.S. Department of Agriculture, Science a. Education Administration. – Beltsville, 1980. – P. 59–63.
7. Singha, S. Influence of agar concentration on in vitro shoot proliferation of malus sp. ‘Almey’ and *Pyrus communis* ‘Seckel’ / S. Singha // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1982. – Vol. 107, № 4. – P. 657–660. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.4.657>
8. Singha, S. Influence of two commercial agars on in vitro shoot proliferation of ‘Almey’ Crabapple and ‘Seckel’ Pear / S. Singha // HortScience. – 1984. – Vol. 19, № 2. – P. 227–228. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.227>
9. Sedlak, J. Influence of growth regulators on in vitro propagation of *Pyrus communis* cv. Koporecka / J. Sedlak, F. Paprstein // Acta Horticulturae. – 2003. – № 616. – P. 379–382. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.616.57>
10. *In vitro* propagation and recovery of eight apple and two pear cultivars held in a germplasm bank / A. Lizárraga, M. Fraga, J. Ascasíbar, M. L. González // American Journal of Plant Sciences. – 2017. – Vol. 8, № 9. – P. 2238–2254. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89150>

11. *In vitro* propagation of Pyrus shoot tips / T. Hirabayashi, T. Moriguchi, I. Kozaki [et al.] // Bulletin of the Fruit Tree Research Station. Series A. – 1987. – № 14. – P. 9–16.
12. Микроклональное размножение груши (*PYRUS COMMUNIS* L.) *in vitro* / И. В. Бартиш, С. М. Меркулов, В. И. Корховой, В. П. Копань // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, № 1. – С. 84–90.
13. Micropropagation and field evaluation of the pear (*Pyrus communis* L.) “IGE 2002”, a new selection of the cultivar Dr. Jules Guyot / I. Iglesias, P. Vilardell, J. Bonany [et al.] // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 2004. – Vol. 129, № 3. – P. 389–393. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0389>
14. Erig, A. C. In vitro establishment of pear (*Pyrus spp.*) starting from meristems and buds / A. C. Erig, G. R. Fortes // Ciéncia Rural. – 2002. – Vol. 32, № 4. – P. 577–582. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400005>
15. In vitro growth responses of the ‘Pyrodwarf’ pear rootstock to cytokinin types / D. Ružić, T. Vujović, D. Nikolić, R. Cerović // Romanian Biotechnological Letters. – 2011. – Vol. 16, № 5. – P. 6630–6637.
16. Optimization of in vitro propagation of pear (*Pyrus communis* L.) ‘Pyrodwarf®(S)’ rootstock / B. Kaviani, A. Barandan, A. Tymoszuk, D. Kulus // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, № 1. – Art. 268. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010268>
17. Bhojwani, S. S. In vitro propagation of *Pyrus pyrifolia* / S. S. Bhojwani, K. Mullins, D. Cohen // Scientia Horticulturae. – 1984. – Vol. 23, № 3. – P. 247–254. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90068-2](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90068-2)
18. Micropagation in wild pear (*Pyrus syriaca*) / R. A. Shibli, M. M. Ajlouni, A. Jaradat [et al.] // Scientia Horticulturae. – 1997. – Vol. 68, № 1–4. – P. 237–242. [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(96\)00972-7](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(96)00972-7)
19. Hlaing, N. Z. Study of *in vitro* root induction and hardening responses of four *Pyrus spp.* / N. Z. Hlaing, F. Ming, J. Shuling // Journal of Scientific and Innovative Research. – 2019. – Vol. 8, № 3. – P. 87–90. <https://doi.org/10.31254/jsir.2019.8304>
20. Berardi, G. Micropagation of *Pyrus calleryana* Dcn. from seedlings / G. Berardi, I. Rodrigo, N. Davide // Scientia Horticulturae. – 1993. – Vol. 53, № 1–2. – P. 157–165.
21. Influence of temperature and sucrose on in vitro proliferation of *Pyrus calleryana* / M. Pasqual, J. M. Cavalcante-Alves, N. N. J. Chalfun, L. F. Dutra // Acta Horticulturae. – 2002. – № 596. – P. 453–455. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.74>
22. Rossi, V. Propagation of *Pyrus calleryana* sel. D6 by in vitro culture / V. Rossi, G. De Paoli, P. Dal Pozzo // Acta Horticulturae. – 1992. – № 300. – P. 145–148. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.300.19>
23. Micropagation of three *Pyrus* rootstocks / R. Bahri-Sahloul, S. Ammar, A. Msalleem, R. Mtar // Advances in Horticultural Science. – 2005. – Vol. 19, № 1. – P. 21–28.
24. Estabelecimento e multiplicação *in vitro* de Cultivares de *Pyrus spp.* / A. C. Dantas, A. N. Nesi, L. B. Machado [et al.] // Revista Brasileira de Agrociencia. – 2002. – Vol. 8, № 1. – P. 19–23.
25. Quoirin, M. Un premier bilan de dix années de recherche sur les cultures de méristèmes et la multiplication *in vitro* de fruitiers ligneux / M. Quoirin, Ph. Lepoivre, Ph. Boxus // Compte rendu des recherches. Années 1976–1977 / Centre de Recherches Agronomiques de l’Etat, Gembloux (Belgium), Station des Cultures Fruitieres et Maraicheres. – Gembloux, 1977. – P. 93–117.
26. Etude comparative de l’aptitude à la micropagation, par culture de meristems *in vitro*, du poirier cv. “Passe-Crassane” adulte et de poiriers juvéniles issus de semis de “Passe-Crassane” / K. Al-Maarri, M. Duron, Y. Arnaud, E. Miginiac // Comptes Rendus des Séances de l’Academie d’Agriculture de France. – 1986. – Vol. 72, № 5. – P. 413–421.
27. Al-Maarri, K. Micropropagation of *Pyrus communis* cultivar ‘Passe Crassane’ seedlings and cultivar ‘Williams’: factors affecting root formation *in vitro* and *ex vitro* / K. Al-Maarri, Y. Arnaud, E. Miginiac // Scientia Horticulturae. – 1994. – Vol. 58, № 3. – P. 207–214. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90152-x](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90152-x)
28. A new method for rapid *in vitro* propagation of apple and pear / V. R. Bommineni, H. Mathews, S. B. Samuel [et al.] // HortScience. – 2001. – Vol. 36, № 6. – P. 1102–1106. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.6.1102>
29. Freire, I. C. G. Improved culture media for the *in vitro* establishment of pear from nodal cuttings / I. C. G. Freire, C. P. S. Coelho, M. T. F. Barros // Acta Horticulturae. – 2002. – № 596. – P. 457–461. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.75>
30. In vitro propagation of pear cultivars / C. Moretti, A. Scorzoli, D. Pasini, F. Paganelli // Acta Horticulturae. – 1991. – № 300. – P. 115–118. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.300.12>
31. Yeo, D. Y. Micropagation of three *Pyrus* rootstocks / D. Y. Yeo, B. M. Reed // HortScience. – 1995. – Vol. 30, № 3. – P. 620–623. <https://doi.org/10.21273/hortsci.30.3.620>
32. Micropropagation of six OHxF (Old Home × Farmingdale) pear rootstocks / R. Mehri-Kamoun, H. Mehri, A. Faïdi, V. Polts // Advances in Horticultural Science. – 2004. – Vol. 18, № 2. – P. 53–59.
33. Reed, B. M. Screening Pyrus germplasm for *in vitro* rooting response / B. M. Reed // HortScience. – 1995. – Vol. 30, № 6. – P. 1292–1294. <https://doi.org/10.21273/hortsci.30.6.1292>
34. Lloyd, G. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Combined Proceedings International Plant Propagators’ Society. – 1980. – Vol. 30. – P. 421–427.
35. Stimart, D. P. In vitro shoot proliferation of *Pyrus calleryana* from vegetative buds / D. P. Stimart, J. F. Harbage // HortScience. – 1989. – Vol. 24, № 2. – P. 298–299. <https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.298>
36. In vitro propagation of Japanese pear cultivars / K. Banno, K. Yoshida, S. Hayashi, K. Tanabe // Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. – 1989. – Vol. 58, № 1. – P. 37–42. <https://doi.org/10.2503/jjshs.58.37>
37. Dwivedi, S. K. In vitro propagation of low-chill pear cv Gola / S. K. Dwivedi, L. D. Bist // Indian Journal of Horticulture. – 1999. – Vol. 56, № 3. – P. 189–193.
38. Thakur, A. Mircropagation of “Wild Pear” *Pyrus pyrifolia* (Burm F) Nakai. I. Explant establishment and shoot multiplication / A. Thakur, J. S. Kanwar // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2008. – Vol. 36, № 1. – P. 103–108. <https://doi.org/10.15835/nbha361108>

39. Kadota, M. Double-phase in vitro culture using sorbitol increases shoot proliferation and reduces hyperhydricity in Japanese pear / M. Kadota, K. Imizu, T. Hirano // *Scientia Horticulturae*. – 2001. – Vol. 89, № 3. – P. 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00234-X)
40. Kadota, M. Effects of cytokinin types and their concentrations on shoot proliferation and hyperhydricity in *in vitro* pear cultivar shoots / M. Kadota, Y. Niimi // *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. – 2003. – Vol. 72, № 3. – P. 261–265. <https://doi.org/10.1023/A:1022378511659>
41. Мялик, М. Г. Клон груши Поздняя Белсад / М. Г. Мялик, О. А. Якимович // Интенсификация плодоводства Беларуси: традиции, достижения, перспективы: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию Ин-та плодоводства, пос. Самохваловичи, 1 сент. – 1 окт. 2010 г. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2010. – С. 53–55.
42. Якимович, О. А. Новый сорт груши Вилия / О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2015. – Т. 27. – С. 80–86.
43. Якимович, О. А. Новый белорусский сорт груши Завея / О. А. Якимович, З. А. Козловская // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2016. – Т. 28. – С. 78–84.
44. Якимович, О. А. Новый сорт груши Купала / О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2014. – Т. 26. – С. 85–91.
45. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Просто Мария / М. Г. Мялик, О. А. Якимович, М. П. Гарост // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2007. – Т. 19. – С. 96–101.
46. Якимович, О. А. Новый белорусский сорт груши Спакуса / О. А. Якимович, Е. М. Мисюк // Плодоводство Беларуси: традиции и современность: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию образования РУП «Институт плодоводства», агр. Самохваловичи, 13–16 окт. 2015 г. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2015. – С. 134–137.
47. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Ясачка / М. Г. Мялик, О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2006. – Т. 18, ч. 1. – С. 21–23.
48. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Кудесница / М. Г. Мялик, О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2008. – Т. 20. – С. 121–127.
49. Якимович, О. А. Сорт груши Талгарская красавица в условиях Беларуси / О. А. Якимович // Плодоводство: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2019. – Т. 31. – С. 49–54.
50. Driver, J. A. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock / J. A. Driver, A. H. Kuniyuki // *HortScience*. – 1984. – Vol. 19, № 4. – P. 506–509. <https://doi.org/10.21273/hortsci.19.4.507>
51. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик, М. С. Кастроцкая, С. Э. Семенас [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Минск: Беларус. наука, 2016. – 208 с.

References

- Shen X.-S., Mullins M. G. Propagation in vitro of pear, *Pyrus communis* L., cultivars ‘William’s Bon Chrétien’, ‘Packham’s Triumph’ and ‘Beurré Bosc’. *Scientia Horticulturae*, 1984, vol. 23, no. 1, pp. 51–57. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90044-X)
- Baviera J. A., García J. L., Ibarra M. Commercial in vitro micropropagation of pear cv. Conference. *Acta Horticulturae*, 1989, no. 256, pp. 63–68. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.256.5>
- De Paoli G. Micropagazione delle varietà di pero. *Informatore Agrario*, 1987, vol. 43, no. 51, pp. 71–73.
- Predieri S., Govoni M. In vitro propagation of compact pear clones. *Acta Horticulturae*, 1998, no. 475, pp. 127–132. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.475.15>
- Lane W. D. Regeneration of pear plants from shoot meristem tips. *Plant Science Letters*, 1979, vol. 16, no. 2–3, pp. 337–342. [https://doi.org/10.1016/0304-4211\(79\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0304-4211(79)90046-4)
- Singha S. In vitro propagation of Seckel pear. *Nursery production of fruit plants through tissue culture: application and feasibility: proceedings of the conference, Beltsville, 21–22 April 1980*. Beltsville, 1980, pp. 59–63.
- Singha S. Influence of agar concentration on in vitro shoot proliferation of Malus sp. ‘Almey’ and *Pyrus communis* ‘Seckel’. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1982, vol. 107, no. 4, pp. 657–660. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.4.657>
- Singha S. Influence of two commercial agars on in vitro shoot proliferation of ‘Almey’ crabapple and ‘Seckel’ pear. *HortScience*, 1984, vol. 19, no. 2, pp. 227–228. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.227>
- Sedlak J., Paprstein F. Influence of growth regulators on in vitro propagation of *Pyrus communis* cv. Koporecka. *Acta Horticulturae*, 2003, no. 616, pp. 379–382. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.616.57>
- Lizárraga A., Fraga M., Ascasíbar J., González M. L. In vitro propagation and recovery of eight apple and two pear cultivars held in a germplasm bank. *American Journal of Plant Sciences*, 2017, vol. 8, no. 9, pp. 2238–2254. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89150>
- Hirabayashi T., Moriguchi T., Kozaki I., Yamamoto Y., Matsuzaki S. In vitro propagation of Pyrus shoot tips. *Bulletin of the Fruit Tree Research Station. Series A*, 1987, no. 14, pp. 9–16.
- Bartish I. V., Merkulov S. M., Korkhovoy V. I., Kopan V. P. Microclonal propagation of some pear (*PYRUS COMMUNIS* L.) in vitro. *Fiziologiya i biokhimiya kul’turnykh rastenii = Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 1994, vol. 26, no. 1, pp. 84–90 (in Russian).

13. Iglesias I., Vilardell P., Bonany J., Claveria E., Dolcet-Sanjuan R. Micropropagation and field evaluation of the pear (*Pyrus communis* L.) “IGE 2002”, a new selection of the cultivar Dr. Jules Guyot. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2004, vol. 129, no. 3, pp. 389–393. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0389>
14. Erig A. C., Fortes G. R. In vitro establishment of pear (*Pyrus spp.*) starting from meristems and buds. *Ciência Rural*, 2002, vol. 32, no. 4, pp. 577–582. <https://doi.org/10.1590/S0103-847820002000400005>
15. Ružić D., Vujović T., Nikolić D., Cerović R. In vitro growth responses of the ‘Pyrodwarf’ pear rootstock to cytokinin types. *Romanian Biotechnological Letters*, 2011, vol. 16, no. 5, pp. 6630–6637.
16. Kaviani B., Barandan A., Tymoszuk A., Kulus D. Optimization of in vitro propagation of pear (*Pyrus communis* L.) ‘Pyrodwarf®(S)’ rootstock. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 1, art. 268. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010268>
17. Bhojwani S. S., Mullins K., Cohen D. In vitro propagation of *Pyrus pyrifolia*. *Scientia Horticulturae*, 1984, vol. 23, no. 3, pp. 247–254. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90068-2](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90068-2)
18. Shibli R. A., Ajlouni M. M., Jaradat A., Aljanabi S., Shatnawi M. Micropropagation in wild pear (*Pyrus syriaca*). *Scientia Horticulturae*, 1997, vol. 68, no. 1–4, pp. 237–242. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00972-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00972-7)
19. Hlaing N. Z., Ming F., Shuling J. Study of *in vitro* root induction and hardening responses of four *Pyrus spp.* *Journal of Scientific and Innovative Research*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 87–90. <https://doi.org/10.31254/jsir.2019.8304>
20. Berardi G., Rodrigo I., Davide N. Micropropagation of *Pyrus calleryana* Dcn. from seedlings. *Scientia Horticulturae*, 1993, vol. 53, no. 1–2, pp. 157–165. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90146-h](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90146-h)
21. Pasqual M., Cavalcante-Alves J. M., Chalfun N. N. J., Dutra L. F. Influence of temperature and sucrose on in vitro proliferation of *Pyrus calleryana*. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 596, pp. 453–455. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.74>
22. Rossi V., De Paoli G., Dal Pozzo P. Propagation of *Pyrus calleryana* sel. D6 by in vitro culture. *Acta Horticulturae*, 1992, no. 300, pp. 145–148. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.300.19>
23. Bahri-Sahloul R., Ammar S., Msallem A., Mtar R. Micropropagation of three *Pyrus* rootstocks. *Advances in Horticultural Science*, 2005, vol. 19, no. 1, pp. 21–28.
24. Dantas A. C., Nesi A. N., Machado L. B., Haerter J., Fortes G. R. Estabelecimento e multiplicação *in vitro* de Cultivares de *Pyrus spp.* *Revista Brasileira de Agrociencia*, 2002, vol. 8, no. 1, pp. 19–23.
25. Quoirin M., Lepoivre Ph., Boxus Ph. Un premier bilan de dix années de recherche sur les cultures de méristèmes et la multiplication *in vitro* de fruitiers ligneux. *Compte rendu des recherches. Années 1976–1977. Centre de Recherches Agronomiques de l'Etat, Station des Cultures Fruitières et Maraîchères*. Gembloux, 1977, pp. 93–117 (in French).
26. Al-Maarri K., Duron M., Arnaud Y., Miginic E. Etude comparative de l’aptitude à la micropropagation, par culture de meristems in vitro, du poirier cv. “Passe-Crassane” adulte et de poiriers juvéniles issus de semis de “Passe-Crassane”. *Comptes Rendus des Séances de l’Academie d’Agriculture de France*, 1986, vol. 72, no. 5, pp. 413–421 (in French).
27. Al-Maarri K., Arnaud Y., Miginic E. Micropropagation of *Pyrus communis* cultivar ‘Passe Crassane’ seedlings and cultivar ‘Williams’: factors affecting root formation in vitro and ex vitro. *Scientia Horticulturae*, 1994, vol. 58, no. 3, pp. 207–214. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90152-x](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90152-x)
28. Bommineni V. R., Mathews H., Samuel S. B., Kramer M., Wagner D. R. A new method for rapid in vitro propagation of apple and pear. *HortScience*, 2001, vol. 36, no. 6, pp. 1102–1106. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.6.1102>
29. Freire I. C. G., Coelho C. P. S., Barros M. T. F. Improved culture media for the in vitro establishment of pear from nodal cuttings. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 596, pp. 457–461. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.75>
30. Moretti C., Scozzoli A., Pasini D., Paganelli F. In vitro propagation of pear cultivars. *Acta Horticulturae*, 1991, no. 300, p. 115–118. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.300.12>
31. Yeo D. Y., Reed B. M. Micropropagation of three *Pyrus* rootstocks. *HortScience*, 1995, vol. 30, no. 3, pp. 620–623. <https://doi.org/10.21273/hortsci.30.3.620>
32. Mehri-Kamoun R., Mehri H., Faïdi A., Polts V. Micropropagation of six OHxF (Old Home × Farmingdale) pear rootstocks. *Advances in Horticultural Science*, 2004, vol. 18, no. 2, pp. 53–59.
33. Reed B. M. Screening *Pyrus* germplasm for in vitro rooting response. *HortScience*, 1995, vol. 30, no. 6, pp. 1292–1294. <https://doi.org/10.21273/hortsci.30.6.1292>
34. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Combined Proceedings International Plant Propagators’ Society*, 1980, vol. 30, pp. 421–427.
35. Stimart D. P., Harbage J. F. In vitro shoot proliferation of *Pyrus calleryana* from vegetative buds. *HortScience*, 1989, vol. 24, no. 2, pp. 298–299. <https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.298>
36. Banno K., Yoshida K., Hayashi S., Tanabe K. In vitro propagation of Japanese pear cultivars. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1989, vol. 58, no. 1, pp. 37–42. <https://doi.org/10.2503/jjshs.58.37>
37. Dwivedi S. K., Bist L. D. In vitro propagation of low-chill pear cv Gola. *Indian Journal of Horticulture*, 1999, vol. 56, no. 3, pp. 189–193.
38. Thakur A., Kanwar J. S. Micropropagation of “Wild Pear” *Pyrus pyrifolia* (Burm F) Nakai. I. Explant establishment and shoot multiplication. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2008, vol. 36, no. 1, pp. 103–108. <https://doi.org/10.15835/nbha361108>
39. Kadota M., Imizu K., Hirano T. Double-phase in vitro culture using sorbitol increases shoot proliferation and reduces hyperhydricity in Japanese pear. *Scientia Horticulturae*, 2001, vol. 89, no. 3, pp. 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00234-X)
40. Kadota M., Niimi Y. Effects of cytokinin types and their concentrations on shoot proliferation and hyperhydricity in *in vitro* pear cultivar shoots. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2003, vol. 72, no. 3, pp. 261–265. <https://doi.org/10.1023/A:1022378511659>

41. Myalik M. G., Yakimovich O. A. Pozdnyaya Belsad pear clone. *Intensifikatsiya plodovodstva Belarusi: traditsii, dos-tizheniya, perspektivy: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Instituta plodovodstva, pos. Samokhvalovichi, 1 sentyabrya – 1 oktyabrya 2010 g.* [Intensification of fruit growing in Belarus: traditions, achievements, prospects: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 85th anniversary of the Institute of Fruit Growing, Samokhvalovichi, September 1 – October 1, 2010)]. Samokhvalovichi, 2010, pp. 53–55 (in Russian).
42. Yakimovich V. A. New pear cultivar Viliya. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2015, vol. 27, pp. 80–86 (in Russian).
43. Yakimovich O. A., Kozlovskaya Z. A. New Belarusian pear cultivar ‘Zaveya’. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2016, vol. 28, pp. 78–84 (in Russian).
44. Yakimovich O. A. New pear cultivar Kupala. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2014, vol. 26, pp. 85–91 (in Russian).
45. Myalik M. G., Yakimovich O. A., Garost M. P. New pear cultivar Prosto Maria. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2007, vol. 19, pp. 96–101 (in Russian).
46. Yakimovich O. A., Misyuk E. M. New Belarusian cultivar of pear Spakusa. *Plodovodstvo Belarusi: traditsii i sovremennost': materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu obrazovaniya RUP “Institut plodovodstva” (ag. Samokhvalovichi, 13–16 oktyabrya 2015 g.)* [Fruit growing in Belarus: traditions and modernity: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the formation of the RUE “Institute of Fruit Growing” (Samokhvalovichi, October 13–16, 2015)]. Samokhvalovichi, 2015, pp. 134–137 (in Russian).
47. Myalik M. G., Yakimovich O. A. New pear variety Yasachka. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2006, vol. 18, pt. 1, pp. 21–23 (in Russian).
48. Myalik M. G., Yakimovich O. A. New pear variety Kudesnitsa. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works.* Samokhvalovichi, 2008, vol. 20, pp. 121–127 (in Russian).
49. Yakimovich O. A. ‘Talgarskaya Krasavitsa’ pear variety in the conditions of Belarus. *Plodovodstvo: sbornik nauchnykh trudov = Fruit growing: collection of scientific papers.* Samokhvalovichi, 2019, vol. 31, pp. 49–54 (in Russian).
50. Driver J. A., Kuniyuki A. H. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock. *HortScience*, 1984, vol. 19, no. 4, pp. 506–509. <https://doi.org/10.21273/hortsci.19.4.507>
51. Kukharchik N. V., Kastritskaya M. S., Semenov S. E., Kolbanova E. V., Krasinskaya T. A., Volosevich N. N. [et al.]. *Propagation of fruit and berry plants in in vitro culture.* Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 208 p. (in Russian).

Информация об авторах

Колбанова Елена Вячеславовна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией диагностики отдела биотехнологии, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Ковалева, 2, Самохваловичи, 223013, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: kolbanova@tut.by

Кухарчик Наталья Валерьевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом биотехнологии, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: nkykhartchyk@gmail.com

Божидай Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии, доцент, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларусь (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: tanya_bozhidaj@mail.ru

Information about the authors

Elena V. Kolbanova – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of Diagnostics Laboratory of Biotechnology Department, Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: kolbanova@tut.by

Natallia V. Kukharchyk – Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Head of Biotechnology Department, Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: nkykhartchyk@gmail.com

Tatsiana N. Bazhydai – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher of Biotechnology Department, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: tanya_bozhidaj@mail.ru

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 634.22.075:631.563

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Поступила в редакцию 07.04.2025

Received 07.04.2025

В. А. Куніна, Н. Б. Платонова, Д. В. Кунін*Федеральныі исследовательскі цэнтр «Субтропіческій научныі цэнтр
Россійской академіі наук», Сочі, Российская Федерація***СОРТОВАЯ РЕАКЦІЯ ПЛОДОВ СЛИВЫ РУССКОЙ
НА ДЛІТЕЛЬНОЕ ХОЛОДОВОЕ ХРАНЕНИЕ**

Аннотация. Культивирование сливы русской в условиях влажных субтропиков России представляет перспективное направление для промышленного садоводства. Ключевой задачей является разработка технологий, обеспечивающих продление сроков хранения плодов без ухудшения их пищевых и потребительских свойств. Оптимизация постуборочной обработки приобретает особую значимость для минимизации экономических потерь и расширения временного окна реализации сезонной продукции. Цель данной работы – оценка эффективности препарата на основе 1-метилциклогептена («1-МЦП «Фреш-Форма») для пролонгации холодового хранения двух сортов сливы русской среднего срока созревания – ‘Тек’ и ‘Июльская роза’. В рамках исследования проведено комплексное изучение биохимических и органолептических параметров плодов с целью обоснования пригодности сортов для длительного хранения и валидации технологии постуборочной обработки. Препарат «1-МЦП «Фреш-Форма» представляет собой газообразное соединение 1-метилциклогептена, относящееся к классу ингибиторов этилена – фитогормона, регулирующего каскад биохимических реакций, ассоциированных с созреванием, старением и деструктивными процессами в постурожайный период. Экспериментальные образцы плодов после сбора разделены на две группы: контрольную и обработанную 1-МЦП. Хранение осуществлялось в промышленных камерах при температуре ($+2 \pm 0,5$) °C и влажности 85–90 %. Мониторинг качества включал количественный анализ органических кислот, определение динамики аскорбиновой кислоты, оценку углеводного профиля (сахароза, глюкоза, фруктоза), расчет сахарокислотного индекса и содержания растворимых сухих веществ, количественное определение общих полифенолов, органолептическую оценку. Исследование выявило сортовую специфичность биохимического отклика плодов сливы сортов ‘Тек’ и ‘Июльская роза’ на обработку при холодовом хранении. Установлено снижение углеводного метаболизма и деградация аскорбиновой кислоты с одновременным активным синтезом полифенолов. Сорт ‘Тек’ продемонстрировал резистентность к воздействию препарата, сорт ‘Июльская роза’ – восприимчивость. Обработка увеличила срок хранения на 46 %. Применение 1-МЦП подтвердило эффективность в пролонгации хранения сливы русской без критической потери качества. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности внедрения технологии в агропрактику региона с адаптацией протоколов обработки к сортовой специфике метаболизма.

Ключевые слова: слива русская, 1-метилциклогептен, постуборочная обработка, хранение, биохимический контроль качества, органолептическая оценка

Для цитирования: Куніна, В. А. Сортовая реакция плодов сливы русской на длительное холодовое хранение / В. А. Куніна, Н. Б. Платонова, Д. В. Кунін // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 219–234. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Viktoria A. Kunina, Natalia B. Platonova, Denis V. Kunin*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi,
Russian Federation***VARIETAL RESPONSE OF RUSSIAN PLUM FRUITS TO LONG-TERM COLD STORAGE**

Abstract. Cultivation of Russian plum in the humid subtropics conditions of Russia is a promising direction for industrial horticulture. The key task is the development of technologies that ensure prolongation of storage life of fruits without deterioration of their nutritional and consumer properties. Optimization of postharvest processing becomes especially important for minimizing economic losses and extending the time window for selling seasonal products. The aim of this work was to evaluate the effectiveness of a preparation based on 1-methylcyclopropene (“1-MCP “Fresh-Form”) for prolongation of cold storage of two varieties of Russian plum of medium maturity – ‘Gek’ and ‘July Rose’. The research included a comprehensive study of biochemical and organoleptic parameters of fruits to substantiate the suitability of varieties for prolonged storage and validation of postharvest processing technology. Preparation “1-MCP “Fresh-Form” is a gaseous compound 1-methylcyclopropene, which belongs to the class of ethylene inhibitors, a phytohormone regulating the cascade of biochemical reactions

associated with ripening, senescence and destructive processes in the postharvest period. Experimental fruit samples after harvesting were divided into two groups: control and 1-MCP-treated. Storage was carried out in industrial chambers at a temperature of $(+2 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and humidity of 85–90 %. Quality monitoring included quantitative analysis of organic acids, determination of ascorbic acid dynamics, evaluation of carbohydrate profile (sucrose, glucose, fructose), calculation of sugar-acid index and soluble solids content, quantitative determination of total polyphenols, organoleptic evaluation. The study revealed varietal specificity of biochemical response of plum fruits of 'Gek' and 'July Rose' varieties to the treatment during cold storage. A decrease in carbohydrate metabolism and degradation of ascorbic acid was found, with simultaneous active synthesis of polyphenols. The 'Gek' variety showed resistance to the treatment, while the 'July Rose' variety showed susceptibility. The treatment increased the shelf life by 46 %. Application of 1-MCP confirmed the effectiveness in prolongation of storage of Russian plum without critical loss of quality. The obtained data indicate the feasibility of technology implementation in agro-practice of the region with adaptation of treatment protocols to varietal specificity of metabolism.

Keywords: Russian plum, 1-methylcyclopropene, postharvest processing, storage, biochemical quality control, organoleptic evaluation

For citation: Kunina V. A., Platonova N. B., Kunin D. V. Varietal response of Russian plum fruits to long-term cold storage. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 219–234 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Введение. В условиях ухудшения экологической ситуации, особенно в урбанизированных регионах, наблюдается усиление внимания к проблеме обеспечения населения сбалансированным питанием, способным компенсировать дефицит макро- и микронутриентов. Одним из стратегических направлений решения данной задачи является включение в рацион свежих плодово-ягодных культур, характеризующихся высоким содержанием биологически активных компонентов [1–3]. Особый интерес в этом контексте представляют плоды сливы русской, которые содержат уникальный фитохимический профиль, включающий сахарокислотные комплексы, фенольные соединения, антиоксиданты, пектины, витамины и минеральные элементы. Данные компоненты играют критическую роль в поддержании физиологических функций организма и нейтрализации оксидативного стресса, что подтверждается результатами современных нутрициологических исследований [4, 5].

Слива русская, являясь культурным гибридом дикорастущих плодовых растений, выращиваемых на Северном Кавказе, обладает рядом преимуществ перед своими дикими предками не только по пищевкусовым качествам и обильному плодоношению, но и характеризуется высокой приспособляемостью к неблагоприятным условиям возделывания. Несмотря на все достоинства культуры и богатое содержание в ней ценных биологически активных веществ (БАВ), время ее потребления в свежем виде весьма ограничено [6, 7].

Как и большинство косточковых культур, слива относится к климактерическим культурам, а значит, не прекращает свое дыхание и активную выработку этилена даже после съема с материнского растения, тем самым провоцируя чрезмерное перезревание. Ингибиование этилена для такого рода фруктов – одна из основных задач для поддержания товарного качества реализуемых плодов, а также сохранения конкурентоспособности продукции на рынке сбыта.

Практический опыт российских и зарубежных исследователей в области улучшения качества плодов и увеличения сроков их хранения доказал целесообразность подбора эффективных препаратов и методов послеуборочной обработки. Согласно ряду данных потери урожая могут достигать 100 %, если условия хранения не оптимизированы [8, 9]. Хотя вопрос о способах хранения плодов из регионов с умеренным климатом хорошо изучен [10–17], методы хранения продукции из субтропических регионов, позволяющие максимально сократить потери, продлить срок потребления и сохранить качество и вкусовые характеристики плодов, научно не обоснованы. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, включающего фундаментальные исследования биохимии исходного сырья и его трансформации в процессе хранения.

Анализ научных результатов в данной области подтвердил, что наиболее доступным и экономически выгодным методом для сохранения урожая является химическая обработка плодов после сбора. Суть данного метода заключается в ингибиции выработки фитогормона этилена, ускоряющего процесс перезревания плодов. Самое популярное средство – использование препаратов, основанных на 1-метилциклоопрене (1-МЦП), которые вступают в реакцию с поверхностью плодов в условиях закрытого хранения, ингибируя ряд биохимических изменений и снижая чувствительность плодов к эндогенным и экзогенным источникам этилена (рис. 1) [18–21].

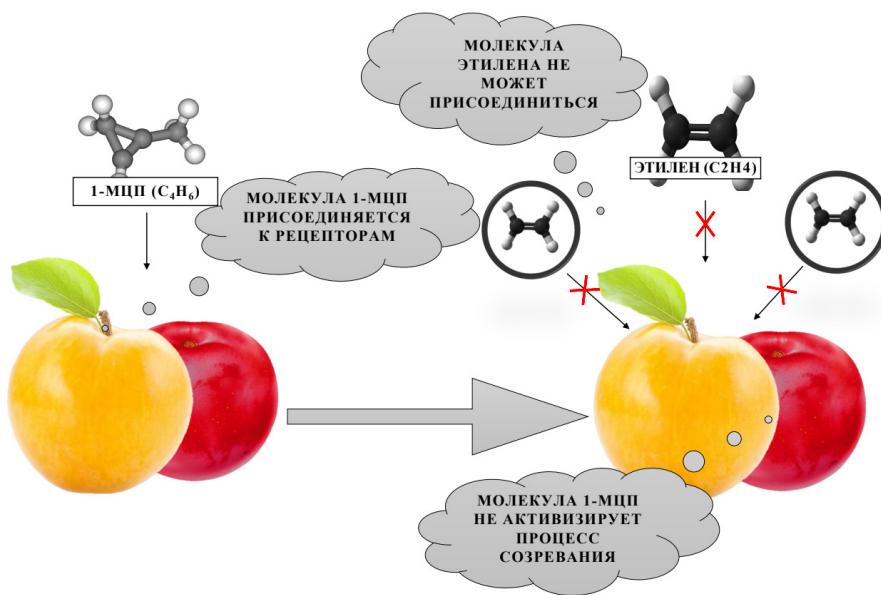


Рис. 1. Схема действия препарата на основе 1-метилциклогексана

Fig. 1. Scheme of action of the preparation based on 1-methylcyclopropane

Впервые успешно синтезировать эффективное соединение 1-МЦП удалось исследователям Университета штата Северная Каролина (США) [22]. В настоящее время на российском рынке представлен большой ассортимент аналогов, одним из которых является «1-МЦП «Фреш-Форма». Содержание действующего вещества в препарате «Фреш-Форма» составляет 35 г/кг, норма расхода препарата – 0,50–0,15 г/м³, относится к группе «Регуляторы роста растений» и соответствует 4-му классу опасности (малоопасные). Средство «Фреш-Форма» прошло токсикологическую, биологическую и экологическую экспертизы, зарегистрировано в каталоге пестицидов и агрохимикатов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации 21.11.2017 г. (№ регистрации 456-07-1623-1) и разрешено к использованию [23]. Продукт прошел всесторонние производственные испытания в ряде агрофирм и доказал свою высокую эффективность.

Цель работы – оценка эффективности препарата на основе 1-метилциклогексана («1-МЦП «Фреш-Форма») для пролонгации холодового хранения двух сортов сливы русской среднего срока созревания – ‘Гек’ и ‘Июльская роза’.

Материалы и методы исследования. Объекты исследований – плоды сливы русской ‘Гек’ и ‘Июльская роза’, выращенные на коллекционно-опытных участках Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН, Сочи, Российская Федерация) (рис. 2).

‘Гек’ – сорт селекции Крымской ООС (г. Крымск, Россия). Срок созревания средний. Высокая урожайность, плоды крупные (массой 35–40 г), окраска желтая с незначительными оранжево-красными вкраплениями. Мякоть желтая, ароматная, кисло-сладкая. Дегустационная оценка – 4,6 балла из 5. Мякоть содержит: сухих веществ – 11,7 %, сахаров – 8,3 %, кислот – 2,9 %, аскорбиновой кислоты – 5,10 мг / 100 г. Сорт высокой зимостойкости, засухоустойчивость средняя [6, 24].

‘Июльская роза’ – сорт селекции Крымской ООС (г. Крымск, Россия). Созревание плодов неравномерное: конец июня – конец июля. Урожайность высокая, плоды среднего размера, до 35 г, окраска розово-красная. Мякоть желтая, аромат слабый, кисло-сладкая. Дегустационная оценка – 4,2 балла из 5. Мякоть содержит: сухих веществ – 9,8 %, сахаров – 7,0 %, кислот – 2,3 %, аскорбиновой кислоты – 6,67 мг / 100 г. Сорт высокой зимостойкости, засухоустойчивость средняя [6, 24].

Послеуборочную обработку плодов осуществляли препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма» (ООО «Фреш-Форма», Россия).

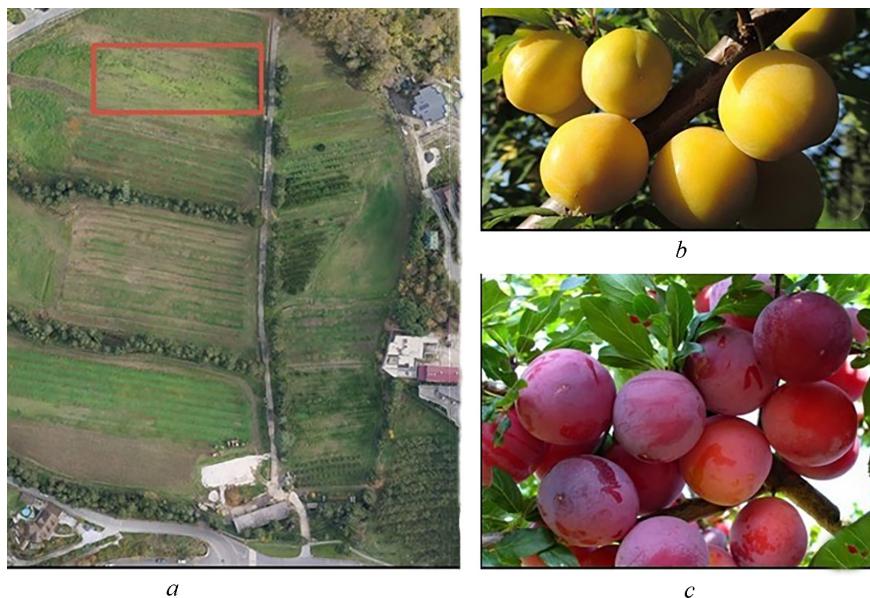


Рис. 2. Место произрастания опытных растений сливы русской (а): сорт ‘Гек’ (б), сорт ‘Июльская роза’ (в)

Fig. 2. Place of growth of experimental plants of Russian plum (a): variety ‘Gek’ (b), variety ‘July Rose’ (c)

Для закладки сливы на длительное хранение плоды обоих сортов отобраны в период массового сбора урожая в технической степени спелости: однородные по качеству, размеру, здоровые, с характерными сортовыми признаками и без видимых повреждений. Через сутки после съема и охлаждения часть урожая обрабатывали препаратом «Фреш-Форма» (время экспозиции – 24 ч), другая – обработке не подвергалась (контроль). Контрольные и обработанные плоды закладывали на хранение в промышленную холодильную камеру с обычной атмосферой (ОА). Температура хранения ($+5 \pm 1$) °C.

Оценку качества плодов сливы русской проводили поэтапно: до обработки и закладки на хранение и в течение всего опыта в определенной кратности (раз в неделю). На всех вариантах велся мониторинг образования увяданий и гнили для своевременного завершения опыта.

Количественное содержание органических кислот и углеводов определяли с помощью системы капиллярного электрофореза серии «Капель 105-М» (ООО «Люмэкс-Маркетинг», Россия) со следующими характеристиками: кварцевый капилляр (внутренний диаметр – 75 мкм, эффективная длина – 0,6 м), жидкостное терmostатирование, микропентрифуга IKA mini G (Германия; 13 000 об/мин). Результаты обрабатывали с использованием программного обеспечения «Эльфоран». Аскорбиновую кислоту определяли йодометрическим методом, в качестве титранта использовали раствор йодата калия. Титрование проводили в присутствии йодида калия и соляной кислоты (индикатор – крахмал) до получения устойчивой синей окраски [25]. Общее содержание полифенолов определяли на однолучевом сканирующем спектрофотометре UNICO 2800 (United Products & Instruments, Inc.) с использованием реактива Фолина-Чокалтеу [26]. Общее содержание растворимых сухих веществ (РСВ) определяли в соке сливы в градусах Брикс (°Bx), полученному из средней пробы с помощью рефрактометра AQ-REF-HON1 (AQUA-LAB, Россия) в трех повторностях. Сахарокислотный индекс плодов определяли отношением суммы сахаров к тиогуруемым кислотам. Технологическую и органолептическую оценку сортов осуществляли согласно методикам [27].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета программ STATGRAPHICS Centurion XV и математического программного пакета MS Excel.

Поверхности отклика (трехмерная постановка задачи) динамики массовой концентрации выбранных биохимических показателей формировались при помощи ПО Gnuplot (v. 5.4) по аналогией с подходом, используемым в [28, 29]. Для аппроксимации поверхности отклика с получением проекций на оси X и Y использовалась сплайн-интерполяция [30, 31].

Биохимические исследования выполняли с использованием оборудования лаборатории биосинтетических процессов преобразования растительного сырья ФИЦ СНЦ РАН.

Результаты и их обсуждение. Подавляющая часть сельскохозяйственных производителей традиционно используют условия обычной атмосферы для хранения урожая. При таком способе срок хранения плодов весьма ограничен, поэтому поиск эффективного метода для продления сроков хранения является актуальной задачей. Таким образом, нами был заложен опыт с применением препарата «1-МЦП «Фреш-Форма».

Для определения степени пригодности плодов сливы к длительному холодовому хранению в зависимости от сортовой специфики и ответной реакции на действие препарата комплекс изучаемых параметров рассматривался отдельно для каждого сорта. На протяжении всего эксперимента был проведен ряд биохимических анализов в динамике. Для всех вариантов опыта контроль качества плодов велся по основным маркерным показателям: количественный состав органических кислот, соотношение моно- и дисахаридов, изменение аскорбиновой кислоты, содержание общих полифенолов, сахарокислотный индекс и растворимые сухие вещества, органолептическая оценка.

В ходе всего эксперимента, наряду с анализом ключевых биохимических параметров, осуществлялся систематический мониторинг отобранных образцов плодовой продукции с целью выявления признаков увядания и перезревания. Важно подчеркнуть, что во всех экспериментальных группах отсутствовали статистически значимые потери массы плодов. Данный факт, вероятно, обусловлен корректной оптимизацией параметров хранения. Результаты визуальной оценки, проведенной по истечении полутора месяцев от начала опыта, продемонстрировали сохранение исходных морфологических характеристик образцов: отсутствие деформации тканей, неизменность пигментного состава эпидермиса, наличие характерной упругости, внешний вид недавно заготовленной продукции, типичный для данного сорта.

Полученные результаты биохимической сортоспецифичности сливы русской ‘Гек’ представлены на графике (рис. 3). Низкие концентрации аскорбиновой и лимонной кислот, как видно из рисунка, не позволили наглядно отобразить их динамику. Так, данные по этим параметрам будут рассмотрены ниже в отдельной диаграмме (рис. 4).

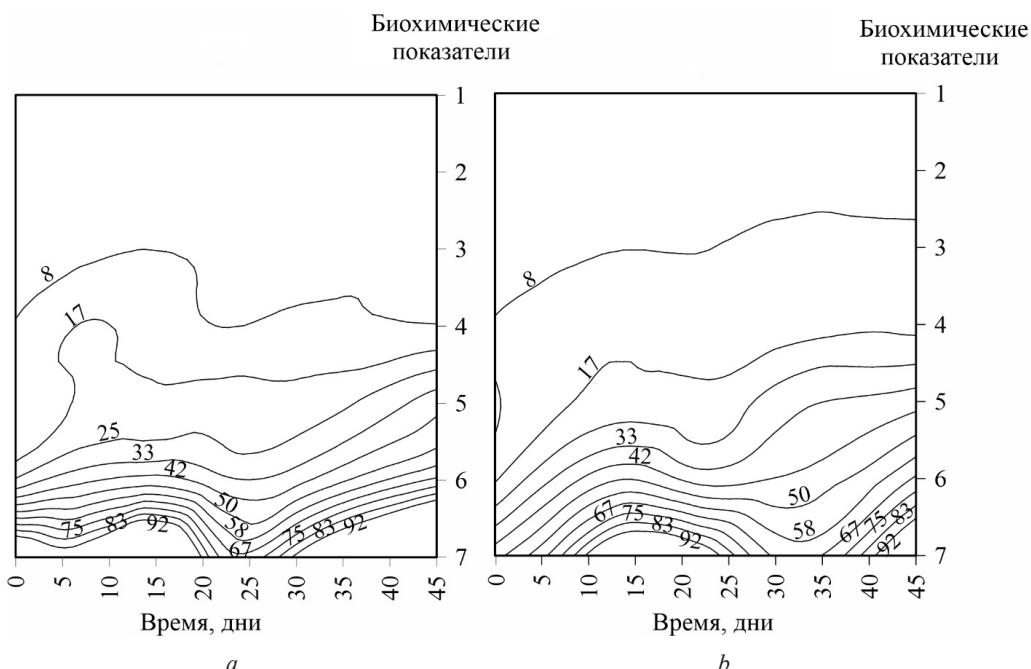


Рис. 3. Динамика биохимических показателей сливы русской ‘Гек’: *a* – контроль; *b* – с обработкой; 1 – аскорбиновая кислота; 2 – лимонная кислота; 3 – полифенолы; 4 – яблочная кислота; 5 – фруктоза; 6 – глюкоза; 7 – сахароза

Fig. 3. Dynamics of biochemical parameters of Russian plum ‘Gek’: *a* – control; *b* – with treatment; 1 – ascorbic acid; 2 – citric acid; 3 – polyphenols; 4 – malic acid; 5 – fructose; 6 – glucose; 7 – sucrose

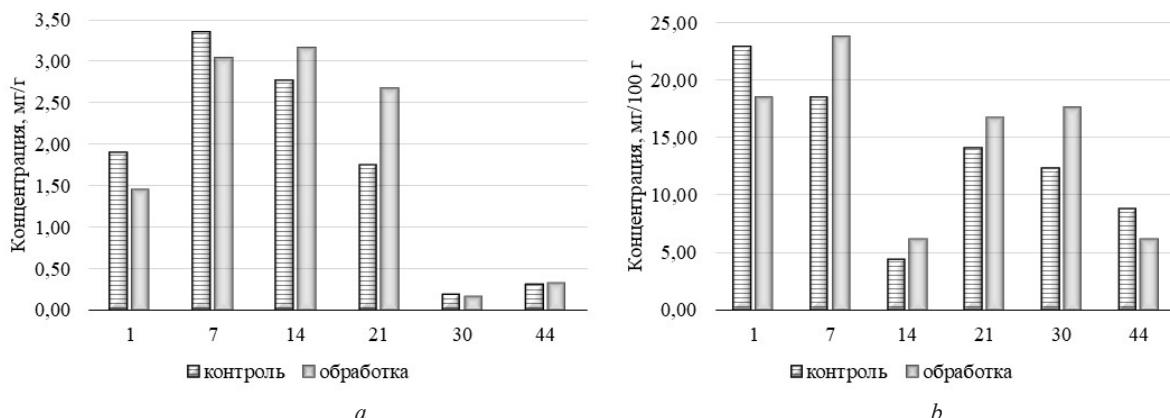


Рис. 4. Динамика содержания лимонной (а) и аскорбиновой (б) кислот в плодах сливы русской 'Гек' с первых по сорокчетвертые сутки хранения

Fig. 4 Dynamics of citric (a) and ascorbic (b) acid content in fruits of Russian plum 'Gek', from the first to forty-fourth days of storage

Комплекс органических кислот – один из факторов, участвующих в жизненном цикле плодов после съема с материнского растения. Доминирующими кислотами в плодах сливы русской, как и в большинстве видов фруктов, являются яблочная и лимонная, придающие им кислый вкус. Рядом авторов также отмечается, что органические кислоты помогают сохранять качество фруктов и продлевать срок их хранения [32]. Последуборочные изменения биохимического состава плодов – это в первую очередь дыхание, в ходе которого фрукты расходуют запасенные органические кислоты, значительно уменьшая при этом кислый вкус, поэтому их соотношение может сильно варьироваться [33].

Экспериментальные данные демонстрируют, что концентрация яблочной кислоты в контрольных образцах 'Гек' к концу опыта незначительно снижается. Через неделю от начала опыта зафиксирован пик увеличения ее концентрации почти в 2 раза (17,01 мг/г). Далее последовало плавное падение, минимальное количество отмечено на 21-й день хранения (8,49 мг/г).

В обработанных плодах 'Гек' отмечено в целом более высокое содержание искомой кислоты в сравнении с контролем на протяжении всего срока хранения (в среднем 13,21 и 11,28 мг/г соответственно). Ее содержание к концу опыта повысилось более чем в 1,5 раза (с 8,94 до 14,81 мг/г). Анализ научных результатов отечественных и зарубежных исследователей показал, что концентрация яблочной кислоты в плодах при послеборочном хранении падает, что свидетельствует о дозревании и последующем их старении [34–37]. Данные нашего опыта демонстрируют обратную картину, и можно утверждать, что обработка препаратом 1-МЦП ингибирует нежелательное развитие стремительного перезревания.

Динамика расхода лимонной кислоты на процессы жизнедеятельности в контрольном и обработанном образцах показала схожие результаты. Через неделю хранения был отмечен подъем концентрации с дальнейшим спадом до одинаковых значений (0,31 и 0,32 мг/г соответственно).

В процессе послеборочного дозревания плоды, ввиду изменения количественного содержанияmono- и дисахаров, приобретают высокие потребительские качества – становятся более сладкими. В ходе исследований по длительному хранению плодов косточковых культур, проведенных ранее, нами были выявлены следующие закономерности: в начале хранения сумма сахаров возрастает, что говорит о процессе гидролиза запасенного плодами крахмала, в дальнейшем – снижается [38].

Интересно, что схожей картины и в контрольных, и в обработанных образцах сливы русской 'Гек' не наблюдается. Стоит отметить, что в обработанных образцах к концу опыта сумма сахаров значительно ниже (213,9 мг/г), чем в контроле (283,4 мг/г), что говорит о торможении процессов жизнедеятельности плодов.

К числу показателей, определяющих качество плодов и продуктов их переработки, а также влияющих на органолептические свойства сырья (вкус, аромат), относятся сахарокислотный ин-

декс (СКИ) и растворимые сухие вещества (РСВ). СКИ – расчетный параметр, отражающий соотношение концентрации суммарных растворимых сахаров к титруемым кислотам. Он изменяется в зависимости от сортовых особенностей культуры и степени зрелости плода. РСВ представляют собой многокомпонентную систему, в состав которой входят моно- и олигосахарины, органические кислоты, растворимый пектин, дубильные, красящие и другие вещества фенольной природы, витамины, ферменты, азотистые вещества, макро- и микроэлементы. Доминирующую долю РСВ (60–85 % от общей массы) составляют сахара, выполняющие функции осморегуляторов и субстратов дыхательного метаболизма [39, 40].

Так, нами были определены сахарокислотный индекс и растворимые сухие вещества как интегральные показатели созревания плодов в начале и в конце опыта (табл. 1). Указанный подход обеспечивает объективную сравнительную оценку сортовых особенностей, позволяя количественно интерпретировать органолептические свойства плодов в контексте их биохимического состава.

Таблица 1. Показатели сахарокислотного индекса и растворимых сухих веществ в плодах сливы русской ‘Гек’

Table 1. Indices of sugar-acid index and soluble solids in fruits of Russian plum ‘Gek’

Вариант	Начало опыта	Конец опыта
	Сахарокислотный индекс	
Контроль (без обработки)	14,58	30,91
«1-МЦП «Фреш-Форма»	10,07	14,14
	РСВ, °Вх	
Контроль (без обработки)	12,00	12,83
«1-МЦП «Фреш-Форма»	12,00	11,83

Высокий показатель СКИ (30,91 %) в контрольных образцах свидетельствует о развитии нежелательных процессов, приводящих к перезреванию плодов. Увеличение индекса коррелирует с накоплением редуцирующих сахаров и деградацией органических кислот в процессе созревания. В обработанных плодах зафиксированы незначительные изменения относительно первоначальных показателей (10,07 и 14,14 %). В контрольной группе (без обработки) к завершению периода хранения отмечено увеличение концентрации РСВ (с 12,00 до 12,83 %), что говорит о продолжении процессов созревания плодов. В опытной группе, обработанной препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма», наблюдается обратная тенденция: снижение уровня РСВ с 12,00 до 11,83 %. Экспериментальные данные еще раз подтверждают ингибирующее действие 1-метилциклопропена на ключевые физиологические процессы.

Также прослежена динамика содержания аскорбиновой кислоты (АК) как одного из показателей метаболических процессов, происходящих в плодах после съема (концентрация этого метаболита в плодах значительно снижается в процессе хранения, что согласуется с данными наших исследований). В контрольном варианте отмечена потеря аскорбиновой кислоты с 22,88 до 8,8 мг / 100 г. Содержание в плодах, подверженных действию препарата, составило 18,48 мг / 100 г в начале и 6,16 мг / 100 г конце опыта. Так, остаточное содержание АК в контроле составило 33,3 %, в обработанных – 38,5 %.

Проанализированы изменения количественного содержания общих полифенолов, которые обладают выраженной антиоксидантной активностью. Наблюдается повышение концентрации к концу опыта как в контроле, так и в обработанных плодах. Изначальное количество полимерных фенолов в контроле составляло 2,85 мг/г, по завершении опыта – 7,39 мг/г. В плодах, подверженных обработке препаратом, концентрация увеличилась в 6 раз (с 1,88 до 12,02 мг/г). Стоит отметить, что после трехнедельного хранения и вплоть до конца опыта сохранялись стабильно высокие значения искомого показателя.

Тот же комплекс биохимических анализов был проведен в плодах сливы сорта ‘Июльская роза’ (рис. 5). Партия необработанных плодов (контроль) изъята из хранилища по

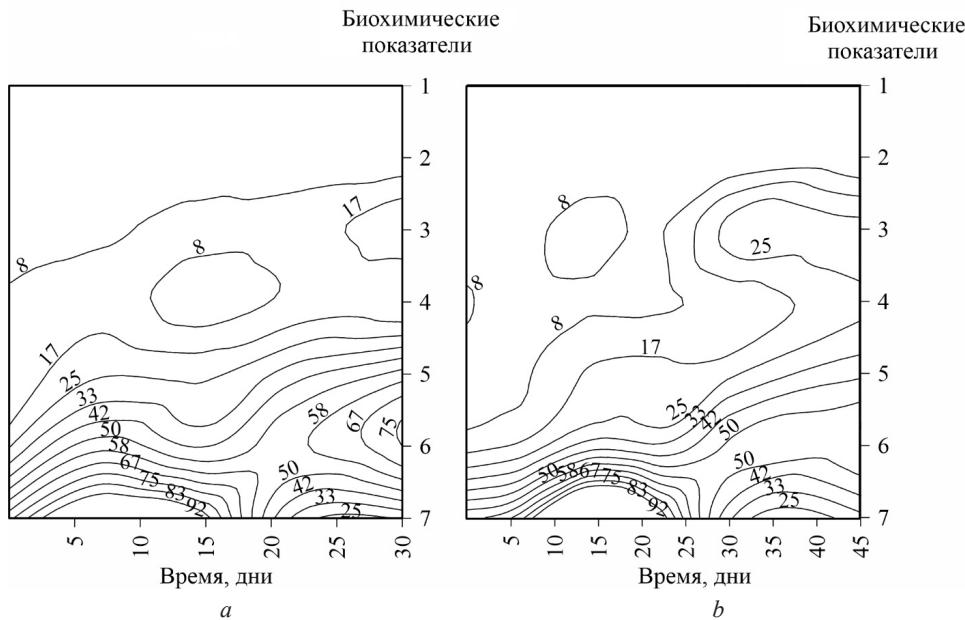


Рис. 5. Динамика биохимических показателей сливы русской ‘Июльская роза’: *a* – контроль; *b* – с обработкой; 1 – аскорбиновая кислота; 2 – лимонная кислота; 3 – полифенолы; 4 – яблочная кислота; 5 – фруктоза; 6 – глюкоза; 7 – сахароза

Fig. 5. Dynamics of biochemical parameters of Russian plum ‘July Rose’: *a* – control; *b* – with treatment; 1 – ascorbic acid; 2 – citric acid; 3 – polyphenols; 4 – malic acid; 5 – fructose; 6 – glucose; 7 – sucrose

проществии 30 дней при первых признаках появления порчи, в то время как у обработанных такие признаки появились на 44-й день хранения. Поэтому у контрольных образцов данные после четвертой недели хранения отсутствуют.

Проведенный сравнительный анализ выявил, что в плодах сливы ‘Июльская роза’, аналогично ранее изученному сорту, концентрации аскорбиновой и лимонной кислот существенно уступают другим биохимическим параметрам, что дает необходимость обособленного рассмотрения этих метаболитов (рис. 6).

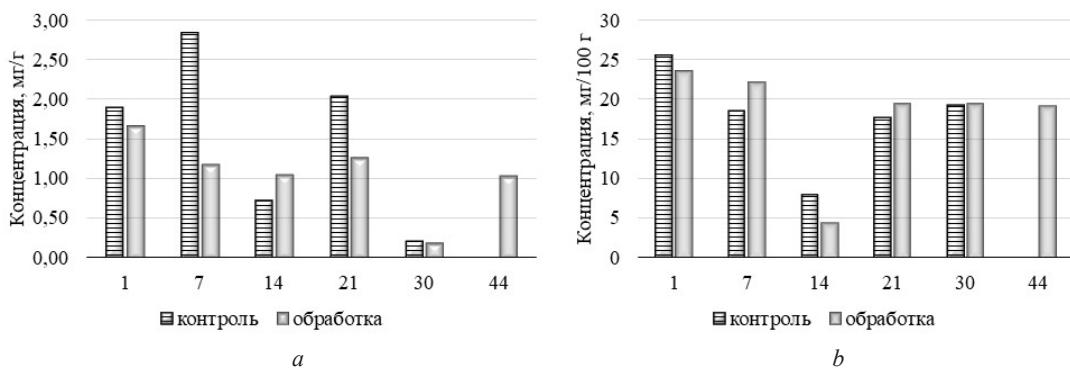


Рис. 6. Динамика содержания лимонной (*a*) и аскорбиновой (*b*) кислот в плодах сливы русской ‘Июльская роза’ с первых по сорок четвертые сутки хранения

Fig. 6. Dynamics of citric (*a*) and ascorbic (*b*) acid content in fruits of Russian plum ‘July Rose’, from the first to forty-fourth days of storage

Результаты анализов показывают, что в контроле яблочная кислота в целом довольно стабильна как в начале эксперимента, так и по его завершении (9,02 и 9,57 мг/г соответственно). После первой недели хранения отмечен пик повышения ее концентрации в 1,5 раза (13,62 мг/г) с последующим понижением (3,98 мг/г). В обработанных плодах содержание яблочной кислоты

в процессе хранения повышается в 2,5 раза (с 8,90 до 22,94 мг/г). Полученные результаты еще раз подтверждают сделанные ранее выводы о положительном действии препарата, ингибирующего выработку этилена.

В контрольных образцах лимонная кислота расходуется на процессы дыхания, в результате чего ее концентрация к концу опыта снижается почти на 90 % (с 1,89 до 0,21 мг/г), что говорит об интенсивном перезревании плодов. В то время как в обработанных такого стремительного падения не наблюдается.

При хранении плодов сливы 'Июльская роза' во всех вариантах эксперимента характер трансформации моно- и дисахаров протекает согласно классическим закономерностям, выявленным ранее коллегами. В контрольных плодах инверсия сахарозы в редуцирующие сахара начинает развиваться после второй недели хранения. Перед физиологической гибелью плодов зафиксировано падение концентрации сахарозы более чем на 60 % (с 72,30 до 26,11 мг/г) с одновременным увеличением фруктозы и глюкозы (с 9,15 до 53,45 мг/г и с 24,25 до 75,00 мг/г соответственно).

В результате действия препарата замечено существенное замедление фаз развития активного старения плодов, сроком в две недели. Несмотря на то что обработанные плоды хранились дольше контрольных, сумма сахаров составляла приблизительно одинаковые концентрации. Тем не менее у обработанных плодов этот показатель ниже (123,92 мг/г), чем в контроле (154,56 мг/г), что подтверждает так называемую консервацию свежих плодов.

Аналогично методике, примененной для сливы сорта 'Тек', в отношении сорта 'Июльская роза' были рассчитаны сахарокислотный индекс и содержание растворимых сухих веществ (табл. 2).

Таблица 2. Показатели сахарокислотного индекса и растворимых сухих веществ в плодах сливы русской 'Июльская роза'

Table 2. Indices of sugar-acid index and soluble solids in fruits of Russian plum 'July Rose'

Вариант	Начало опыта	Конец опыта
	Сахарокислотный индекс	
Контроль (без обработки)	9,69	15,80
«1-МЦП «Фреш-Форма»	7,92	5,17
	PCB, °Вх	
Контроль (без обработки)	11,17	13,00
«1-МЦП «Фреш-Форма»	11,17	9,73

В контрольных плодах сливы сорта 'Июльская роза' наблюдается увеличение сахарокислотного индекса к завершению экспериментального периода почти на 50 %. Хотя подобная динамика ассоциируется с улучшением органолептических характеристик плодов (повышение сладости), с технологической точки зрения она указывает на нежелательные биохимические сдвиги, характерные для фазы интенсивного перезревания.

В обработанных образцах, напротив, зафиксировано снижение показателя, что коррелирует с уменьшением общей концентрации редуцирующих сахаров, как демонстрируют приведенные выше данные. Такая тенденция свидетельствует о замедлении процессов гидролиза полисахаридов и деградации органических кислот, что критически важно для обеспечения сохранности продукции при длительном хранении.

По содержанию PCB сохраняется уже описанная выше динамика. В контрольных образцах выявлено значимое увеличение показателя – с 11,17 до 13,00 %. В плодах, подверженных обработке, – сокращение концентрации PCB на 11,44 %.

Динамика накопления аскорбиновой кислоты в плодах детерминирована генотипическими особенностями сортов и параметрами послеуборочного хранения. Сравнительный анализ выявил значимое превосходство сорта 'Июльская роза' по концентрации АК относительно сорта 'Тек' во всех исследуемых группах. В ходе эксперимента зафиксирована тенденция к снижению содержания АК как в контрольных, так и в обработанных образцах (с 25,52 до 19,25 мг / 100 г;

с 23,48 до 19,01 мг / 100 г соответственно). Принципиальное различие между группами проявилось на четвертой неделе хранения: в обработанных образцах наблюдалась стабилизация уровня АК (19,36 мг / 100 г), сохранявшаяся до завершения эксперимента. Данный эффект может быть связан с ингибиованием окислительно-восстановительных процессов, опосредованных действием применяемого препарата.

Результаты эксперимента выявили значительное увеличение концентрации общих полифенольных соединений на протяжении всего периода исследования как в контрольных, так и в обработанных образцах. Исходная концентрация показателя в контрольных образцах составила 4,69 мг/г, а после четырех недель хранения – 22,82 мг/г. Содержание полифенолов увеличилось почти в 5 раз, что соответствует естественной активации синтеза полифенолов в ответ на окислительный стресс при хранении. В свою очередь, в обработанном варианте значение увеличилось в 7,5 раза (с 3,711 до 27,910 мг/г), демонстрируя выраженный стимулирующий эффект применяемого препарата на биосинтез фенольных соединений.

Для оценки вкусовых характеристик всех опытных вариантов была проведена органолептическая оценка плодов перед закладкой на хранение и после завершения опыта (табл. 3).

Таблица 3. Органолептическая оценка плодов сливы русской сортов ‘Тек’ и ‘Июльская роза’

Table 3. Organoleptic evaluation of fruits of Russian plum ‘Gek’ and ‘July Rose’

Вариант	Внешний вид, балл	Окраска, балл	Консистенция, балл	Аромат, балл	Вкус, балл	Средний балл
<i>Начало хранения</i>						
‘Тек’ (контроль)	4,8	4,9	4,7	4,9	4,6	4,8
‘Тек’ (обработанный)	4,8	4,9	4,7	4,9	4,6	4,8
‘Июльская роза’ (контроль)	4,8	4,6	4,8	4,6	4,2	4,6
‘Июльская роза’ (обработанный)	4,8	4,6	4,8	4,6	4,2	4,6
<i>Конец опыта</i>						
‘Тек’ (контроль)	4,7	4,6	4,5	4,8	4,8	4,7
‘Тек’ (обработанный)	4,8	4,8	4,6	4,7	4,3	4,6
‘Июльская роза’ (контроль)	4,6	4,7	4,4	4,9	4,7	4,8
‘Июльская роза’ (обработанный)	4,7	4,8	4,5	4,7	4,4	4,6

Проведенный специалистами ФИЦ СНЦ РАН анализ выявил высокие потребительские характеристики исследуемых сортов. Средний балл органолептической оценки сохранил стабильность на протяжении экспериментального периода, составив 4,7 балла по 5-балльной шкале как на начальном, так и на финальном этапах хранения. Все образцы характеризовались интенсивной пигментацией эпидермиса, соответствующей сортовым стандартам, отсутствием признаков поверхностных дефектов (пятнистость, увядание), высокими показатели сочности мякоти и сбалансированным кисло-сладкий вкусом. Улучшение оценок по категориям «аромат» (+0,3 балла) и «вкус» (+0,4 балла) к концу хранения обусловлено рядом биохимических изменений: повышением общей сахаристости и снижением титруемой кислотности. Дегустаторы отметили уменьшение твердости мякоти в контрольных образцах, что связано с активностью пектинолитических ферментов. Данный фактор способствовал формированию «нежной» текстуры, однако снижал лежкость плодов.

Заключение. В ходе исследований проведены комплексные биохимические анализы качества плодов сливы русской, часть из которых была обработана препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма». Выявлены сортовые различия в продолжительности хранения: ‘Тек’ – в течение 44 суток (как в контроле, так и при обработке), что свидетельствует о генетически обусловленной устойчивости к примененному препарату. ‘Июльская роза’: контроль – 30 суток, обработанные – в течение 44 суток, что говорит о наибольшей восприимчивости к действию 1-метилциклогексена.

Получены данные, характеризующие особенности биохимического состава: основными доминирующими кислотами в плодах сливы являются яблочная и лимонная. Их количественное содержание и соотношение может значительно колебаться в связи с клеточным дыханием после

сьема с материнских деревьев. В контрольной группе сорта ‘Тек’ зафиксировано статистически незначимое снижение концентрации яблочной кислоты к завершению экспериментального периода. В опытной группе, напротив, наблюдается выраженный прирост данного показателя. В контрольной группе сорта ‘Июльская роза’ концентрация яблочной кислоты демонстрировала стабильную динамику на протяжении экспериментального периода. В опытной группе, обработанной препаратом, зафиксирован статистически значимый прирост концентрации яблочной кислоты. Отсутствие значимых колебаний в концентрации яблочной кислоты в контрольных вариантах сортов ‘Тек’ и ‘Июльская роза’ может быть связано с ее частичным вовлечением в цикл трикарбоновых кислот (ЦТК) для генерации аденоцинтрифосфата (АТФ). Рост концентрации в обработанной группе свидетельствует об ингибировании ключевого фермента ЦТК (малатдегидрогеназа), ответственного за окисление яблочной кислоты под действием препарата.

В контрольной и обработанной группах сливы сорта ‘Тек’ зафиксировано одинаково статистически значимое снижение концентрации лимонной кислоты. Таким образом, обработка 1-МЦП не оказывает значимого влияния на метаболизм лимонной кислоты, что может быть связано с сортоспецифичной устойчивостью к применяемому препарату. При хранении плодов сливы сорта ‘Июльская роза’ в контрольных образцах лимонная кислота расходуется на процессы дыхания, в результате чего ее концентрация к концу опыта снижается почти на 90 %, в обработанных плодах такого стремительного падения не наблюдается. Можно сделать вывод, что препарат эффективно замедляет деградацию кислоты, продлевая срок хранения.

В ходе эксперимента выявлено несоответствие общепринятым закономерностям инверсии сахарозы в редуцирующие сахара (глюкоза, фруктоза) в процессе хранения во всех вариантах опыта сливы сорта ‘Тек’. Но есть различия в сумме сахаров: в обработанных образцах к концу опыта этот показатель значительно ниже, чем в контроле, что интерпретируется как ингибирование физиологических процессов в плодах. В контрольной группе сорта ‘Июльская роза’ активизация процесса инверсии сахаров наблюдалась на вторую неделю хранения. Перед физиологической гибелю плодов отмечено резкое снижение концентрации сахарозы более чем на 60 %, сопровождавшееся параллельным накоплением фруктозы и глюкозы. В варианте с обработкой суммарный показатель сахаров оказался почти на 20 % ниже контрольных значений, что подтверждает химическую стабилизацию метаболических процессов.

В рамках исследования проведен мониторинг интегральных биохимических маркеров созревания плодов – сахарокислотного индекса и содержания растворимых сухих веществ – на начальном и заключительном этапах эксперимента. Анализ данных выявил выраженную сортовую специфику динамики изучаемых параметров. У контрольной группы сорта ‘Тек’ зафиксировано статистически значимое увеличение СКИ в 2 раза, в обработанных образцах – в 1,5 раза. Для сорта ‘Июльская роза’ в контрольных образцах зарегистрирован рост СКИ, а в обработанной группе – снижение, что коррелирует с уменьшением общего пула сахаров.

Мониторинг РСВ продемонстрировал, что в контрольной группе ‘Тек’ концентрация РСВ в ходе эксперимента незначительно увеличилась, тогда как в опытной группе зафиксировано снижение показателя. У сорта ‘Июльская роза’ схожая динамика: контрольные образцы показали рост РСВ, в то время как обработка ингибировала данный процесс, вызывая снижение показателя относительно исходного уровня.

Результаты анализа по содержанию аскорбиновой кислоты в плодах выявили выраженные межсортовые различия. В контрольной группе сорта ‘Тек’ зафиксирована интенсивная деградация АК с уменьшением концентрации на 62 % в течение периода хранения. Обработанные образцы данного сорта продемонстрировали аналогичную тенденцию с сокращением содержания АК на 67 %, что указывает на отсутствие стабилизирующего эффекта применяемого препарата. Для сорта ‘Июльская роза’ наблюдалась менее выраженная, но статистически значимая редукция аскорбиновой кислоты: в контрольной группе – снижение на 25 %, в опытной – на 19 %. Сравнительный анализ межсортовых различий выявил существенно более высокий уровень АК у ‘Июльской розы’, что, несомненно, сказывается на вкусе и было отмечено в ходе органолептической оценки.

Результаты анализа динамики суммарного содержания полифенольных соединений выявили выраженную активацию их биосинтеза в процессе хранения у обоих изучаемых сортов. Для сорта 'Тек' в контроле зафиксировано увеличение концентрации полифенолов в 2,5 раза, тогда как в варианте с обработкой наблюдался интенсивный рост показателя в 6 раз. Примечательно, что в обработанных образцах данного сорта после трехнедельной экспозиции установилось плато с устойчивым поддержанием высоких значений (12,02 мг/г), что свидетельствует о кумулятивном эффекте экспериментального воздействия. Аналогичная тенденция выявлена у сорта 'Июльская роза': в контролльных образцах концентрация полифенолов возросла почти в 5 раз, в то время как обработка индуцировала более интенсивное накопление – увеличение в 7,5 раза.

Полученные данные контрастируют с ранее установленным ингибирующим влиянием препарата на углеводный обмен и деградацию аскорбиновой кислоты, что подчеркивает избирательность его воздействия на различные биохимические процессы. Наблюдаемая гиперэкспрессия полифенолов в опытных группах, особенно выраженная у 'Июльской розы', может быть интерпретирована как адаптивный ответ на индуцированный стресс, направленный на активацию антиоксидантной системы плодов. Такая динамика коррелирует с современными представлениями о роли фенольных соединений в механизмах постурожайной стабилизации клеточных структур, что открывает перспективы для оптимизации технологий хранения с учетом сортовых особенностей метаболизма.

Проведенное исследование выявило сортоспецифичные биохимические реакции плодов 'Тек' и 'Июльская роза' на послеуборочную обработку ингибитором созревания в условиях длительного холодового хранения ($+2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, влажность 85–90 %). Установлено, что препарат «1-МЦП «Фреш-Форма» проявляет избирательное действие: ингибируя углеводный обмен и деградацию аскорбиновой кислоты, стимулирует синтез общих полифенолов как адаптивный ответ на стресс. Межсортовые различия в реакции на обработку выражены в устойчивости сорта 'Тек' и в восприимчивости сорта 'Июльская роза', они еще раз указывают на необходимость дифференцированного подхода к постурожайным технологиям.

Применение исследуемой послеуборочной обработки «1-МЦП «Фреш-Форма» обеспечивает эффективное решение задачи пролонгации периода сохранности плодов сливы русской в агроклиматических условиях субтропического региона. Экспериментально подтверждено, что технология позволяет достичь увеличения сроков хранения без критического ухудшения органолептических и биохимических характеристик продукции. Сохранение ключевых показателей качества свидетельствует о перспективности метода для минимизации постурожайных потерь в условиях повышенных температурно-влажностных нагрузок. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения данной технологии в практику плодоводства субтропической зоны с учетом сортовой специфики метаболического ответа.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ФИЦ СНЦ РАН № FGRW-2025-0005.

Acknowledgments. The study was funded by the state assignment research of FRC SSC RAS FGRW-2025-0005.

Список использованных источников

1. Liu, R. H. Health-promoting components of fruits and vegetables / R. H. Liu // Advances in Nutrition. – 2013. – Vol. 4, № 3. – P. 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
2. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases / H. Boeing, A. Bechthold, A. Bub [et al.] // European Journal of Nutrition. – 2012. – Vol. 51, № 6. – P. 637–663. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0380-y>
3. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins / W. Kalt, A. Cassidy, L. R. Howard [et al.] // Advances in Nutrition. – 2020. – Vol. 11, № 2. – P. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
4. Исследование комплекса фенольных соединений в плодах сливы домашней (*Prunus domestica* L.) в условиях Тамбовской области / А. М. Миронов, М. Ю. Акимов, В. А. Кольцов, Р. Е. Богданов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 3. – С. 25–30. <https://doi.org/10.31857/S2500262723030055>
5. Scalbert, A. Polyphenols: antioxidants and beyond / A. Scalbert, I. T. Johnson, M. Saltmarsh // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2005. – Vol. 81, suppl. 1. – P. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
6. Еремин, Г. В. Косточковые плодовые культуры. Генофонд и его использование в селекции / Г. В. Еремин. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2021. – 558 с.
7. Еремин, Г. В. Совершенствование сортимента сливы русской / Г. В. Еремин // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 48, № 1. – С. 98–102.

8. Гудковский, В. А. Система сокращения потерь и сохранение качества плодов и винограда при хранении: метод. рекомендации / В. А. Гудковский. – Мичуринск: ВНИИ садоводства, 1990. – 119 с.
9. Высокоточные технологии хранения плодов яблони – основа обеспечения их качества (достижения, задачи на перспективу) / В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, Ю. Б. Назаров [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 2. – С. 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
10. Абеленцев, В. И. Влияние послеуборочной обработки биопрепаратами на хранение яблок / В. И. Абеленцев, М. Е. Подгорная, В. М. Смольякова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2010. – № 4 (3). – С. 105–109.
11. Будаговский, А. В. Лазерная обработка яблок / А. В. Будаговский, О. Н. Будаговская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 8. – С. 40–43.
12. Применение когерентного света для снижения потерь яблок в послеуборочный период / А. В. Будаговский, О. Н. Будаговская, М. В. Маслова, Е. В. Грошева // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2018. – № 2 (8). – С. 16–22. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-8-16-22>
13. Прогрессивные технологии хранения плодов / В. А. Гудковский, А. А. Кладь, Л. В. Кожина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 66–68.
14. Колесник, А. А. Хранение плодов в регулируемой атмосфере / А. А. Колесник, М. А. Федоров, Е. Х. Осенина. – М.: Колос, 1973. – 144 с.
15. Лисовой, В. В. Российский и зарубежный опыт применения биопрепаратов при хранении фруктов / В. В. Лисовой, Д. В. Кабалина // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 134. – С. 205–217. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-134-017>
16. Неменущая, Л. А. Современные технологии хранения и переработки плодовоощной продукции: науч. аналит. обзор / Л. А. Неменущая, Н. М. Степанищева, Д. М. Соломатин. – М.: Росинформагротех, 2009. – 170 с.
17. Русанова, Л. А. Современные способы хранения плодов, овощей, ягод и винограда / Л. А. Русанова // Сфера услуг: инновации и качество. – 2013. – № 13. – Ст. 11.
18. Уайлд, Г. Коммерческое использование технологии применения ингибитора этилена (1-MCP) в США / Г. Уайлд, А. Парадовский // Высокоточные технологии производства, хранения и переработки плодов и ягод: [материалы Междунар. науч.-практ. конф., 7–10 сент. 2010 г.] / Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства; редкол.: Е. А. Егоров [и др.]. – Краснодар, 2010. – С. 330–336.
19. Watkins, C. B. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control / C. B. Watkins // Fruit quality and its biological basis / ed. M. Knee. – Sheffield; Boca Raton, 2002. – P. 180–224.
20. Zanella, A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage / A. Zanella // Postharvest Biology and Technology. – 2003. – Vol. 27, № 1. – P. 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00187-477](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00187-477)
21. Кунина, В. А. Применение препарата на основе 1-метилциклоопропена для продления сроков хранения плодов персика и нектарина / В. А. Кунина, Н. Б. Платонова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2024. – № 5–6. – С. 15–20. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.5-6.2>
22. Blankenship, S. M. 1-Methylcyclopropene: a review / S. M. Blankenship, J. M. Dole // Postharvest Biology and Technology. – 2003. – Vol. 28, № 1. – P. 1–25. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(02)00246-6)
23. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: по сост. на 23 апр. 2025 г. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – URL: <https://mcx.gov.ru/search/?q=государственный+каталог+пестицидов&test=test> (дата обращения: 16.05.2025).
24. Атлас лучших сортов плодовых и ягодных культур Краснодарского края. Т. 2. Косточковые культуры / под общ. ред. Г. В. Еремина. – Краснодар: [б. и.], 2009. – 134 с.
25. Методы анализа витаминов: практикум / сост.: Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников. – Калининград: Изд-во Калинингр. гос. ун-та, 2004. – 35 с.
26. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós // Methods in Enzymology. – 1999. – Vol. 299. – P. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
27. Программа и методика сортопизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т садоводства; под общ. ред. Г. А. Лобanova. – Мичуринск: [б. и.], 1973. – 495 с.
28. Dynamics of backfill compressive strength obtained from enrichment tails for the circular waste management / L. Ma, Y. Ghorbani, C. B. Kongar-Syuryun [et al.] // Resources, Conservation and Recycling Advances. – 2024. – Vol. 23. – Art. 200224. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200224>
29. Механохимическая технология добычи металлов из хвостов обогащения / В. И. Голик, Ю. И. Разоренов, В. С. Бригда, О. Г. Бурдзиева // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 6. – С. 175–183. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2687>
30. Джоева, А. К. Пространственная нелинейность динамики метановыделения в подземных скважинах для устойчивого развития геотехнологий / А. К. Джоева, В. С. Бригда // Записки Горного института. – 2020. – Т. 245. – С. 522–530. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.5.3>
31. Brigida, V. S. Methane release in drainage holes ahead of coal face / V. S. Brigida, N. N. Zinchenko // Journal of Mining Science. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P. 60–64. <https://doi.org/10.1134/s1062739114010098>
32. GABA pathway rate-limit citrate degradation in postharvest citrus fruit evidence from HB pumelo (*Citrus grandis*) × Fairchild (*Citrus reticulata*) / L. Sheng, D. Shen, W. Yang [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2017. – Vol. 65, № 8. – P. 1669–1676. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05237>
33. Медведев, С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 496 с.

34. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells / A. Etienne, M. Génard, P. Lobit [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2013. – Vol. 64, № 6. – P. 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
35. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables / ed.: E. M. Yahia, A. Carrillo-Lopez. – Duxford: Woodhead Publ., 2018. – 510 p.
36. Accumulation and regulation of malate in fruit cells / L. H. Zhang, A. N. Zhang, Y. Xu [et al.] // Fruit Research. – 2024. – Vol. 4. – Art. e031. <https://doi.org/10.48130/frures-0024-0025>
37. Interactions among chilling tolerance, sucrose degradation and organic acid metabolism in UV-C-irradiated peach fruit during postharvest cold storage / D. Zhou, S. Chen, R. Xu [et al.] // Acta Physiologae Plantarum. – 2019. – Vol. 41, № 6. – Art. 79. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2871-4>
38. Метод автоматизированной оценки эффективности средств повышения сохранности плодов с помощью акустооптического видеоспектрометра / С. С. Баташова, А. А. Золотухина, А. В. Гурылева [и др.] // Оптический журнал. – 2024. – Т. 91, № 7. – С. 25–36. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-07-25-36>
39. Ветрова, О. А. Влияние минерального питания на некоторые показатели биохимического состава плодов вишни / О. А. Ветрова, М. А. Макаркина, Т. А. Роеva // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 9 (198). – С. 67–76. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-67-76>
40. Уфимцева, Л. В. Сахаро-кислотный индекс при оценке вкусовых качеств сортобразцов жимолости / Л. В. Уфимцева, Н. В. Глаз, М. С. Лезин // Ученые записки Челябинского отделения Русского ботанического общества. – Челябинск, 2020. – Вып. 3. – С. 123–127.

References

1. Liu R. H. Health-promoting components of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 384–392. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
2. Boeing H., Bechthold A., Bub A., Ellinger S., Haller D., Kroke A., Leschik-Bonnet E., Müller M.J., Oberritter H., Schulze M., Stehle P., Watzl B. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, 2012, vol. 51, no. 6, pp. 637–663. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0380-y>
3. Kalt W., Cassidy A., Howard L. R., Krikorian R., Stull A.J., Tremblay F., Zamora-Ros R. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
4. Mironov M. A., Akimov M. Yu., Koltsov V. A., Bogdanov R. E. Insight into a complex of phenolic compounds in plump fruits (*Prunus domestica* L.) in the conditions of Tambov oblast. *Russian Agricultural Sciences*, 2023, vol. 49, no. 4, pp. 361–367. <https://doi.org/10.3103/S1068367423040109>
5. Scalbert A., Johnson I. T., Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, vol. 81, suppl. 1, pp. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
6. Eremin G. V. *Stone fruit crops: genetic diversity and its use in breeding*. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug Publ., 2021. 558 p. (in Russian).
7. Eremin G. V. Improving of the assortment of Russian plum. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 98–102 (in Russian).
8. Gudkovskii V. A. *The system of reducing losses and preserving the quality of fruits and grapes during storage: methodological recommendations*. Michurinsk, All-Russian Research Institute of Horticulture, 1990. 119 p. (in Russian).
9. Gudkovsky V. A., Kozhina L. V., Nazarov Y. B., Balakirev A. E., Gocheva R. B. High-precision technologies of storage of apple fruits is the basis for ensuring their quality: achievements, challenges for the future. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2019, vol. 33, no. 2, pp. 61–67 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
10. Abelentsev V. I., Podgornaja M. E., Smoljakova V. M. Influence post-harvest of handling biological preparations on storage of apples. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii = Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 2010, no. 4 (3), pp. 105–109 (in Russian).
11. Budagovskii A. V., Budagovskaya O. N. Laser processing of apples. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyry'a = Storage and Processing of Farm Products*, 2008, no. 8, pp. 40–43 (in Russian).
12. Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N., Maslova M. V., Grosheva E. V. Application of coherent light to reduce the loss of apples in the post-delivery period. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noi Rossii = Agro-industrial Technologies of Central Russia*, 2018, no. 2 (8), pp. 16–22 (in Russian). <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-8-16-22>
13. Goudkovsky V. A., Klad A. A., Kozhina L. V., Balakirev A. Ye., Nazarov Yu. B. Advanced fruit storage technologies. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2009, no. 2, pp. 66–68 (in Russian).
14. Kolesnik A. A., Fedorov M. A., Osenova E. Kh. *Fruit storage in a controlled atmosphere*. Moscow, Kolos Publ., 1973. 144 p. (in Russian).
15. Lisovoy V. V., Kabalina D. V. Russian and foreign experience of the application of biopreparations in storage of fruits. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2017, no. 134, pp. 205–217 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-134-017>
16. Nemenushchaya L. A., Stepanishcheva N. M., Solomatin D. M. *Modern technologies of storage and processing of fruit and vegetable products: scientific analytical review*. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2009. 170 p. (in Russian).
17. Rusanova L. A. Modern way to store fruits, vegetables, berries and grapes. *Sfera uslug: innovatsii i kachestvo = Services Sector: Innovation and Quality*, 2013, no. 13, art. 11 (in Russian).

18. Uaild G., Paradovskii A. Commercial use of ethylene inhibitor (1-MSR) technology in the USA. *Vysokotochnye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki plodov i yagod* [High-precision technologies for the production, storage and processing of fruits and berries]. Krasnodar, 2010, pp. 330–336 (in Russian).
19. Watkins C. B. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control. *Fruit quality and its biological basis*. Sheffield, Boca Raton, 2002, pp. 180–224.
20. Zanella A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, vol. 27, no. 1, pp. 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00187-477](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00187-477)
21. Kunina V. A., Platonova N. B. Application of a preparation based on 1-methylcyclopropene to extend the storage life of peach and nectarine fruits. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food Technology*, 2024, no. 5–6, pp. 15–20 (in Russian). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.5-6.2>
22. Blankenship S. M., Dole J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, vol. 28, no. 1, pp. 1–25. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(02)00246-6)
23. State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation: as of April 23, 2025. *Ministry of Agriculture of Russia*. Available at: <https://mcx.gov.ru/search/?q=государственный+каталог+пестицидов&test=test> (accessed 16 May 2025) (in Russian).
24. Eremin G. V. (ed.). *Atlas of the best varieties of fruit and berry crops of the Krasnodar Region. Vol. 2. Stone fruits*. Krasnodar, 2009. 134 p. (in Russian).
25. Chupakhina G. N., Maslennikov P. V. (comp.). *Methods of vitamin analysis: workshop*. Kaliningrad, Publishing house of Kaliningrad State University, 2004. 35 p. (in Russian).
26. Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 1999, vol. 299, pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
27. Lobanov G. A. (ed.). *Program and methodology of varietal study of fruit, berry and nut crops*. Michurinsk, 1973. 495 p. (in Russian).
28. Ma L., Ghorbani Y., Kongar-Suryun C. B., Khayrtdinov M. M., Klyuev R. V., Petenko A., Brigida V. Dynamics of backfill compressive strength obtained from enrichment tails for the circular waste management. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 2024, vol. 23, art. 200224. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200224>
29. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Brigida V. S., Burdzieva O. G. Mechanochemical technology of metal mining from enriching tails. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 6, pp. 175–183 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2687>
30. Dzhioeva A. K., Brigida V. S. Spatial non-linearity of methane release dynamics in underground boreholes for sustainable mining. *Journal of Mining Institute*, 2020, vol. 245, pp. 522–530. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.5.3>
31. Brigida V. S., Zinchenko N. N. Methane release in drainage holes ahead of coal face. *Journal of Mining Science*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 60–64. <https://doi.org/10.1134/s1062739114010098>
32. Sheng L., Shen D., Yang W., Zhang M., Zeng Y., Xu J., Deng X., Cheng Y. GABA pathway rate-limit citrate degradation in postharvest citrus fruit evidence from HB pumelo (*Citrus grandis*) × Fairchild (*Citrus reticulata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, vol. 65, no. 8, pp. 1669–1676. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05237>
33. Medvedev S. S. *Plant physiology*. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2013. 496 p. (in Russian).
34. Etienne A., Génard M., Lobit P., Mbeguié-A-Mbéguié D., Bugaud C. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 2013, vol. 64, no. 6, pp. 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
35. Yahia E. M., Carrillo-Lopez A. (eds.). *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*. Duxford, Woodhead Publishing, 2018. 510 p.
36. Zhang L. H., Zhang A. N., Xu Y., Zhu L. C., Ma B. Q., Li M. J. Accumulation and regulation of malate in fruit cells. *Fruit Research*, 2024, vol. 4, art. e031. <https://doi.org/10.48130/frures-0024-0025>
37. Zhou D., Chen S., Xu R., Tu S., Tu K. Interactions among chilling tolerance, sucrose degradation and organic acid metabolism in UV-C-irradiated peach fruit during postharvest cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2019, vol. 41, no. 6, art. 79. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2871-4>
38. Batashova S. S., Zolotukhina A. A., Guryleva A. V., Platonova N. B., Kunina V. A. Method for automated assessment of the effectiveness of fruit safety enhancement using an acousto-optical imaging spectrometer. *Journal of Optical Technology*, 2024, vol. 91, no. 7, pp. 452–458. <https://doi.org/10.1364/JOT.91.000452>
39. Vetrova O. A. Makarkina M. A., Roeva T. A. The mineral nutrition effect on some indicators of the cherry fruits biochemical composition. *Vestnik KrasGAU = Bulliten KSAU*, 2023, no. 9 (198), pp. 67–76 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-67-76>
40. Ufimtseva L. V., Glaz N. V., Lezin M. S. The use of sugar-acid index in the evaluation of varieties taste of honeyberry. *Uchenye zapiski Chelyabinskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Scientific notes of the Chelyabinsk branch of the Russian Botanical Society]. Chelyabinsk, 2020, iss. 3, pp. 123–127 (in Russian).

Информация об авторах

Кунина Виктория Алексеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0009-0005-2640-4921>. E-mail: kunina.v@internet.ru

Платонова Наталья Борисовна – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-2392-8947>. E-mail: natali1875@bk.ru

Кунин Денис Викторович – младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0009-0003-5371-199X>. E-mail: denis-kunin4@rambler.ru

Information about the authors

Viktoria A. Kunina – Ph. D. (Biology), Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-2640-4921>. E-mail: kunina.v@internet.ru

Natalia B. Platonova – Ph. D. (Agriculture), Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-2392-8947>. E-mail: natali1875@bk.ru

Denis V. Kunin – Junior Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0003-5371-199X>. E-mail: denis-kunin4@rambler.ru

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

МЕХАНИЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА
MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

УДК 631.223.2.018
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-235-242>

Поступила в редакцию 23.09.2024
Received 23.09.2024

В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова, В. Е. Хазанов, Т. И. Гордеева, В. Н. Миронов

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –
филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург,
Российская Федерация*

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ УБОРКИ, УДАЛЕНИЯ
И ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА**

Аннотация. Современное оборудование, используемое в линии навозоудаления на фермах КРС, имеет отдельные блоки управления для автоматизации выполнения каждой технологической операции. Внедрение информационных технологий с автоматизацией всего технологического процесса уборки, удаления, транспортировки и переработки навоза как единой системы позволит повысить производительность и исключить малопроизводительный, неквалифицированный ручной труд. Цель исследования – разработка зависимостей и структурной схемы технологического процесса уборки, удаления и переработки навоза как объекта управления, позволяющих автоматизировать выполнение процесса с обеспечением заданных технико-экономических показателей. Проанализированы технологические операции, влияющие на образование навоза, технологии его переработки и хранения, используемые на фермах КРС беспривязного способа содержания. В качестве источника данных использованы сведения, полученные в рамках научных проектов и проектирования животноводческих ферм КРС. Структурная схема управления охватывает технологические операции уборки навоза, которые осуществляются в зданиях для содержания животных и доильном зале, накопления в промежуточном навозоприемнике, транспортировки, разделения с ферментацией твердой фракции навоза, хранения, а также обработку копыт и мытье поилок, при выполнении которых использованная вода поступает в виде стоков в навоз. Для некоторых технологических операций предусмотрены альтернативные варианты. Разработанная модель управления технологическим процессом уборки, удаления и переработки навоза направлена на комплексную автоматизацию процессов и формирование согласованности режимов работы технических средств с целью уменьшения эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: навозоудаление, переработка навоза, крупный рогатый скот, технологический процесс, модель, управление

Для цитирования: Структурная схема управления технологическим процессом уборки, удаления и переработки навоза / В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова, В. Е. Хазанов [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 235–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-235-242>

**Vladislav V. Gordeev, Tatiana Yu. Mironova, Viktor E. Khazanov,
Tatyana I. Gordeeva, Viacheslav N. Mironov**

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific
Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation*

**BLOCK DIAGRAM OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL
FOR MANURE CLEANING, REMOVAL AND PROCESSING**

Abstract. Modern equipment used in the manure removal line at cattle farms has separate control units for automation of each technological operation. Introduction of information technologies with automation of the whole technological process of manure cleaning, removal, transportation and processing as a single system will allow to exclude low-productive, unskilled manual labor and increase the efficiency of production. The aim of the research is to develop dependencies and block diagram of the technological process of manure cleaning, removal and processing as a control object, which allows to automate the

process with the provision of specified technical and economic indicators. The technological operations affecting the formation of manure, technologies of its processing and storage, used on cattle farms of loose housing method are analyzed. As a source of data, information obtained in the framework of scientific projects and design of cattle breeding farms was used. The control block diagram covers technological operations of manure management, which are carried out in the animal housing buildings and milking parlor, accumulation in the intermediate manure collector, transportation, separation with fermentation of solid fraction of manure, storage, as well as hoof treatment and drinker washing, during which the used water is discharged as effluent into manure. Alternatives are available for some technological operations. The developed model of technological process of manure cleaning, removal and processing is aimed at complex automation of processes and formation of consistency of operation modes of technical means in order to reduce operating costs.

Keywords: manure removal, manure processing, cattle, technological process, model, control

For citation: Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Khazanov V. E., Gordeeva T. I., Mironov V. N. Block diagram of technological process control for manure cleaning, removal and processing. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 235–242 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-235-242>

Введение. Количество навоза, образующегося при содержании коров, может быть в несколько раз больше, чем количество основного продукта – молока, и зависит от многих факторов (рацион, возраст животных, условия содержания и др.). Обработка и утилизация навозосодержащих отходов является одной из важнейших задач для животноводческих предприятий, решение которой напрямую влияет на их экологическую безопасность.

Система навозоудаления включает этапы по уборке, сбору, промежуточному накоплению и выгрузке навоза из помещений, а также последующей его обработке. Применяемая комбинация технологических операций навозоудаления зависит от ряда факторов, и каждый ее отдельный этап оказывает влияние на физико-химические свойства получаемого навоза, микроклимат, количество выбросов парниковых газов и др.

Ранее, в работе [1], авторами была представлена структурная схема технологического процесса навозоудаления как объекта управления, включающая удаление навоза из коровника и доильного зала, а также его промежуточное накопление с последующим поступлением в навозохранилище.

Сейчас в технологиях переработки навоза основное внимание уделяется повышению экологической безопасности и экономической эффективности [2]. Одной из перспективных технологий является сепарация навоза на твердую и жидкую фракции. В России 21 % предприятий КРС, где образуется жидкий навоз, применяют технологию разделения навоза на фракции с последующей отдельной переработкой твердой и жидкой фракции [3].

Все больше предприятий, использующих в качестве подстилочных материалов опилки, измельченную солому, торф и другие, проявляют интерес к технологии производства подстилки из твердой фракции навоза [4]. Применение технологий обработки навоза с разделением его на твердую и жидкую фракции и ферментацией твердой фракции для использования ее в качестве подстилки в последние годы приобретает популярность как в зарубежных странах [5–8], так и в России.

Современное оборудование, используемое в линии навозоудаления на фермах КРС, имеет отдельные блоки управления для автоматизации выполнения каждой технологической операции. Внедрение информационных технологий с автоматизацией всего технологического процесса уборки, транспортировки и переработки навоза необходимо для исключения малопроизводительного, неквалифицированного ручного труда, а в перспективе и вообще человека из технологии. Эффективное управление процессами удаления и переработки навоза важно для минимизации загрязнения окружающей среды. При этом автоматизация процессов уборки и удаления навоза обеспечивает их своевременное выполнение, что положительно сказывается на микроклимате в животноводческих помещениях, помогает поддерживать чистоту и уровень гигиены, снижает риск возникновения заболеваний копыт, загрязнения вымени. Все вместе это благоприятно сказывается на уровне комфорта животных и способствует повышению удоев и качества молока.

Цель исследования – разработка зависимостей и структурной схемы технологического процесса уборки, удаления и переработки навоза как объекта управления, позволяющих автоматизировать выполнение процесса с обеспечением заданных технико-экономических показателей.

Материалы и методы. Исследования проведены с применением системного анализа, аналитических методов и обобщения результатов исследований из литературных источников и материалов нормативных документов. Проанализированы технологические операции, при выполнении которых использованная вода поступает в виде стоков в навоз, технологии его переработки и хранения, используемые на фермах беспривязного способа содержания крупного рогатого скота. В качестве источника данных использованы сведения, полученные в рамках проектирования ферм.

При разработке структурной схемы управления авторы исходили из следующих условий: современный технологический процесс навозоудаления должен обеспечивать своевременную уборку и удаление навоза из животноводческих помещений, быть максимально автоматизированным, отвечать соблюдению технологии, иметь минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Результаты и их обсуждение. Для автоматизации и управления процессом уборки, удаления и переработки навоза как единой системой разработана структурная схема (рисунок).

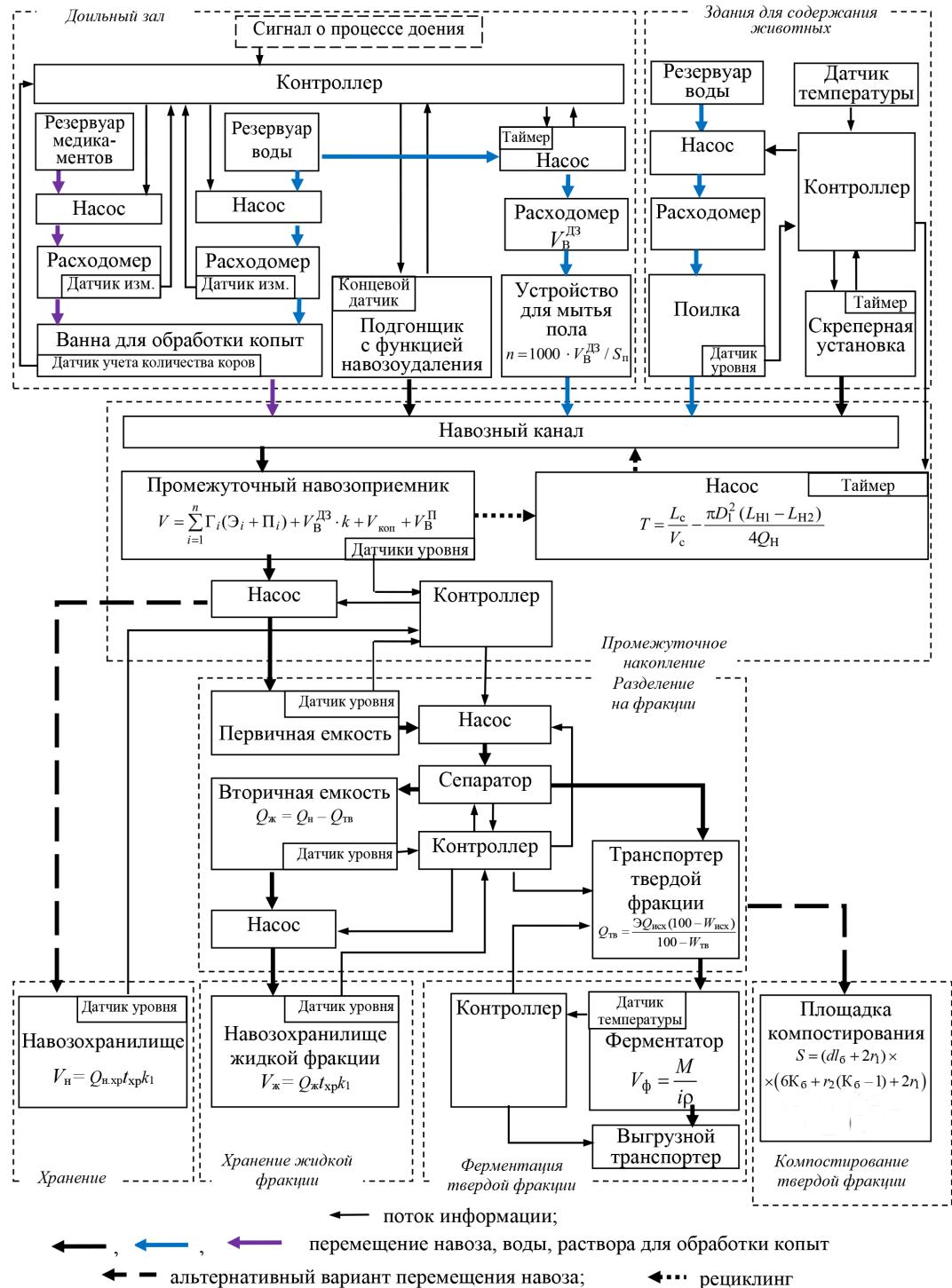
Связь отдельных структурных блоков (объектов), с указанными на них оборудованием и техническими средствами, осуществляется посредством радиоканала. Выбор технических средств для уборки и удаления навоза, используемых в производственных зданиях, зависит от выполняемых технологических операций.

Уборка навоза из навозных проходов в зданиях для содержания животных производится стационарными скреперными установками по заданной программе в навозный канал. В холодное время года предусматривается периодическое движение скреперов для защиты от замерзания, которое осуществляется в зависимости от температуры в помещении. В зданиях для содержания животных в навозный канал также поступает вода после мытья поилок.

Уборка навоза в доильном зале включает в себя очистку преддоильной площадки от экскрементов с помощью подгонщика с функцией навозоудаления, который может использоваться после каждой или нескольких групп, и мытье доильных, преддоильных площадок и скотопрогонов, осуществляющееся после каждого доения с использованием автоматических смывных систем или вручную высоконапорными установками. Расходомер измеряет объем воды, затраченной на уборку доильного зала ($V_{\text{B}}^{\text{ДЗ}}$). На основании этих данных можно рассчитать удельное значение расхода воды (n) на регулярную уборку площади пола (S_n) преддоильной площадки и доильного зала и для оценки эффективности использования воды сравнить с нормативными значениями, приводимыми в РД-АПК 1.10.01.01-18¹ (5 л/м²). Одной из регулярных операций, проводимых в доильном зале, является обработка копыт коров. Для этого в хозяйствах обычно используются ванны с раствором [9], который после использования поступает в навоз. Для автоматизации процесса обработки копыт могут применяться гидродинамические ванны. Такие ванны программируются на смену раствора после прохода через нее заданного количества животных, после чего быстро опорожняются и очищаются с помощью форсунок высокого давления и тут же наполняются новым раствором с заданным количеством медикаментов.

Навоз из навозного канала центробежным насосом мощной струей жидкой фракции смывается в промежуточный навозоприемник. Объем навозоприемника (V) должен вмещать суточный объем навоза, который зависит от удельного суточного выхода экскрементов (\mathcal{E}_i) и расхода подстилки (Π_i) в каждой половозрастной группе и количества животных (Γ_i) в каждой из них, суточный объем воды на уборку доильного зала ($V_{\text{B}}^{\text{ДЗ}} \cdot k$), количество раствора после обработки копыт в сутки ($V_{\text{коп}}$) и объем воды, образуемый после мытья поилок ($V_{\text{B}}^{\text{П}}$). Включение насоса должно осуществляться синхронизировано со скреперами, что позволит избежать неоправданных затрат электроэнергии от работы насоса вхолостую. Рабочее время насоса зависит от длины (L_{H1}) и диаметра (D_1) размывной трубы, производительности насоса (Q_{H}), длины (L_{H2}) основного трубопровода, а время задержки на включение насоса для размыва навоза (T) еще от рабочей длины навозного прохода (L_c) и скорости движения скребков (V_c). Эти параметры можно рассчитать по формулам, представленным в [1, 10].

¹ РД-АПК 1.10.01.01-18. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. М: Росинформагротех, 2018. 166 с.



Структурная схема технологического процесса уборки, удаления и переработки навоза как объекта управления

Structural diagram of technological process of cleaning, removing and processing of manure as a control object

Перекачка навоза из промежуточного навозоприемника в навозохранилище в автоматическом режиме производится с помощью центробежного насоса на основании срабатывания датчиков уровня. Датчик верхнего уровня промежуточного навозоприемника служит для автоматического включения насоса перекачки навоза в навозохранилище, а нижнего уровня – для автоматического выключения с целью сохранения остаточного количества для создания нагнетающего потока при перемешивании навозной массы.

На необходимый объем навозохранилища (V_h) влияет количество перекачиваемого в хранилище навоза за сутки ($Q_{h,xp}$), продолжительность накопления навоза (t_{xp}) и коэффициент заполнения с учетом количества атмосферных осадков (k_1) [1, 10].

В последние годы как за рубежом, так и в России расширяется применение технологий обработки навоза с разделением его на твердую и жидкую фракции и ферментацией твердой фракции для использования ее в качестве подстилки.

В этом случае навоз с помощью насоса подается в приемный резервуар (первичная емкость) сепараторного пункта (см. рисунок). Объем этой емкости, как правило, рассчитан на максимальный суточный выход навоза и совпадает с объемом промежуточного навозоприемника. Далее с помощью насоса навоз перекачивается в сепаратор, где происходит его разделение на твердую и жидкую фракции.

Количество твердой фракции после (Q_{tb} , т) разделения навоза можно рассчитать по формуле

$$Q_{tb} = \frac{\mathcal{E} Q_{исх} (100 - W_{исх})}{100 - W_{tb}}, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – эффективность разделения, %; $Q_{исх}$ – количество исходного навоза, т; W_{tb} – относительная влажность твердой фракции навоза, %; W_h – влажность исходного навоза, %.

Количество жидкой фракции ($Q_{ж}$, т) после разделения навоза, соответственно, будет составлять разницу между количеством исходного навоза и твердой фракцией:

$$Q_{ж} = Q_{исх} - Q_{tb}, \quad (2)$$

где $Q_{исх}$ – количество исходного навоза, т; Q_{tb} – количество жидкой и твердой фракции навоза т.

При дальнейшей ферментации твердой фракции полный объем ферментатора (V_ϕ , м³) можно определить по формуле [11]

$$V_\phi = \frac{M}{i\rho}, \quad (3)$$

где M – масса смеси, загружаемой в ферментационную установку, кг; i – показатель полезного объема установки ($i = 0,75$); ρ – плотность смеси, кг/м³.

Биоферментационные установки по сравнению с длительным выдерживанием позволяют сократить сроки процесса переработки навоза и выбросы загрязняющих газов от него [12].

В [13] расчетами было показано, что технологии с разделением навоза и ферментацией твердой фракции позволяют обеспечить животных достаточным количеством обеззараженной подстилки и таким образом улучшить условия их содержания, что особенно актуально при дефиците подстилочных материалов, который характерен практически для всех хозяйств Северо-Западной России. Использование подстилки благоприятно сказывается на здоровье животных и поддержании параметров микроклимата в животноводческом помещении: уменьшается эмиссия аммиака и влаги из навоза [14].

При альтернативном ферментированию варианте твердая фракция навоза после разделения поступает на площадку компостирования. При переработке навоза методом пассивного компостирования минимальную площадь площадки можно рассчитать по следующей формуле [15]:

$$S = (dl_6 + 2r_1)(6K_6 + r_2(K_6 - 1) + 2r_1), \quad (4)$$

где dl_6 – длина бурта компостирования, м; r_1 – расстояние между крайними буртами и краем бетонированной площадки, м; K_6 – количество буртов; r_2 – расстояние между буртами, м.

Разработанная структурная схема технологической линии удаления и переработки навоза как объекта управления обеспечивает соблюдение технологии и соответствует предъявляемым требованиям, позволяет прогнозировать его влажность, объем навозохранилищ, а при разделении – количество твердой и жидкой фракций.

Выводы. Разработана структурная схема управления технологической линией удаления и переработки навоза, позволяющая за счет формирования согласованности режимов работы технических средств автоматизировать выполнение процесса навозоудаления, исключить человеческий фактор и уменьшить эксплуатационные затраты. Представленная схема охватывает технологические операции уборки навоза, которые осуществляются в зданиях для содержания животных и в доильном зале, накопления в промежуточном навозоприемнике, транспортировки, разделения с ферментацией твердой фракции навоза, хранения, а также обработку копыт и мытье поилок, при выполнении которых использованная вода поступает в виде стоков в навоз. Для некоторых технологических операций предусмотрены альтернативные варианты. Предложены зависимости для определения объема навозоприемника, который должен вмещать суточный выход экскрементов, количество подстилки и воды, поступающей в виде стоков в навоз, а также времени задержки на включение насоса размыва навоза для синхронизации со скреперами, зависящего от параметров основного и размывного трубопроводов, производительности насоса, рабочей длины навозного прохода и скорости движения скребков, что позволит избежать неоправданных затрат электроэнергии от работы насоса вхолостую.

Список использованных источников

1. Структурная схема управления технологическим процессом навозоудаления / В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова, В. Е. Хазанов [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 2 (107). – С. 115–125.
2. Бордай, В. П. Огляд сучасних технологій переробки гною у скотарстві / В. П. Бордай, Є. М. Кривохижя, Д. С. Чуприна // Агроекологічний журнал. – 2020. – № 2. – С. 112–119. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207689>
3. Шалавина, Е. В. Анализ технологий переработки отходов животноводства в различных природно-климатических условиях России / Е. В. Шалавина, Э. В. Васильев, Э. А. Папушин // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 3 (116). – С. 110–124. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>
4. Брюханов, А. Ю. Предпосылки к формированию санитарно-гигиенических требований к подстилке для крупного рогатого скота / А. Ю. Брюханов, Р. А. Уваров, Л. М. Белова // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 2 (272). – С. 30–34. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-2-30-34>
5. Recycled manure solids as bedding for dairy cattle: a scoping study / M. Green, K. A. Leach, J. Breen [et al.] // Cattle Practice. – 2014. – Vol. 22, № 2. – P. 207–214.
6. Recycling manure as cow bedding: potential benefits and risks for UK dairy farms / K. A. Leach, S. Archer, J. Breen [et al.] // The Veterinary Journal. – 2015. – Vol. 206, № 2. – P. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.013>
7. An alternative manure treatment technology // Filtration + Separation. – 2014. – Vol. 51, № 5. – P. 44–45. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(14\)70187-9](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(14)70187-9)
8. Identifying key pathways in manure and sewage management of dairy farming based on a quantitative typology: a case study in China / J. Zhang, L. Zhang, M. Wang [et al.] // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 760. – Art. 143326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143326>
9. Сохраняем здоровье копыт / В. Тимошенко, А. Музыка, А. Москалёв, И. Ковалевский // Животноводство России. – 2015. – № 1. – С. 33–35.
10. Гордеев, В. В. Алгоритм управления системой навозоудаления при беспривязном способе содержания коров / В. В. Гордеев, Е. О. Ланцова // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2017. – № 93. – С. 173–177.
11. Уваров, Р. А. Повышение эффективности переработки навоза крупного рогатого скота путем разработки биоферментационной установки барабанного типа: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Уваров Роман Алексеевич; Ин-т агронженер. и экол. проблем с.-х. пр-ва. – СПб., 2018. – 160 л.
12. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве / А. Ю. Брюханов, В. Д. Попов, Э. В. Васильев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 48–55. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>
13. Хазанов, Е. Е. Анализ технологий обработки навоза с использованием твердой фракции в качестве подстилки / Е. Е. Хазанов, В. В. Гордеев, В. Е. Хазанов // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – 2010. – Т. 21, № 3. – С. 194–198.
14. Gordeev, V. Ammonia emission and moisture evaporation from cattle manure with different moisture and excrement content / V. Gordeev, T. Mironova, V. Mironov // Engineering for rural development: proc. of 19th Intern. sci. conf., Jelgava, Latvia, 20–22 May 2020 / Latvia Univ. of Life Sciences a. Technologies, Latvia Acad. of Agr. a. Forest Sciences. – Jelgava, 2020. – P. 1018–1022. <https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF238>

15. Метод расчета размеров бетонированной площадки при переработке навоза методом пассивного компостирования / Е. В. Шалавина, Э. В. Васильев, Р. А. Уваров [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2020. – № 4 (105). – С. 90–101. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10269>

References

1. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Khazanov V. E., Gordeeva T. I., Mironov V. N. Block diagram of manure removal control. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*, 2021, no. 2 (107), pp. 115–125 (in Russian)
2. Boroday V., Kryvokhyzha Y., Chupryna D. Review of modern technologies of manure processing in cattle farming. *Agroekologichniy zhurnal = Agroecological Journal*, 2020, no. 2, pp. 112–119. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207689>
3. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Papushin E. A. Analysis of technologies for processing animal waste in different natural and climatic conditions of Russia. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*, 2023, no. 3 (116), pp. 110–124 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>
4. Bryukhanov A. Yu., Uvarov R. A., Belova L. M. Prerequisites for the formation of sanitary and hygienic requirements for cattle litter. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2020, no. 2 (272), pp. 30–34 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-2-30-34>
5. Green M., Leach K. A., Breen J., Ohnstad I., Tuer S., Archer S., Bradley A. Recycled manure solids as bedding for dairy cattle: a scoping study. *Cattle Practice*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 207–214.
6. Leach K. A., Archer S., Breen J., Green M., Ohnstad I., Tuer S., Bradley A. Recycling manure as cow bedding: potential benefits and risks for UK dairy farms. *The Veterinary Journal*, 2015, vol. 206, no. 2, p. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.013>
7. An alternative manure treatment technology. *Filtration + Separation*, 2014, vol. 51, no. 5, pp. 44–45. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(14\)70187-9](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(14)70187-9)
8. Zhang J., Zhang L., Wang M., Brostaux Y., Yin C., Dogot T. Identifying key pathways in manure and sewage management of dairy farming based on a quantitative typology: a case study in China. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 760, art. 143326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143326>
9. Timoshenko V., Muzyka A., Moskalyov A., Kirikovich S. Maintaining hoof health. *Zhivotnovodstvo Rossii = Animal Husbandry in Russia*, 2016, no. 6, pp. 37–38 (in Russian).
10. Gordeev V. V., Lantsova E. O. Control algorithm for manure removal system in loose cow housing. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products], 2017, no. 93, pp. 173–177 (in Russian).
11. Uvarov R. A. *Improving the efficiency of cattle manure processing by developing a drum-type biofermentation unit*. St. Petersburg, 2018. 160 p. (in Russian).
12. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R. A. Analysis and solutions to environmental problems in livestock farming. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2021, vol. 15, no. 4, pp. 48–55 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>
13. Khazanov E. E., Gordeev V. V., Khazanov V. E. Analysis of manure treatment technologies using the solid fraction as litter. *Nauchnye trudy GNU VNIIMZh Rossel'khozakademii* [Scientific works of the All-Russian Research Institute of Mechanisation of Animal Husbandry], 2010, vol. 21, no. 3, pp. 194–198 (in Russian).
14. Gordeev V., Mironova T., Mironov V. Ammonia emission and moisture evaporation from cattle manure with different moisture and excrement content. *Engineering for rural development: proceedings of 19th International scientific conference, Jelgava, Latvia, 20–22 May 2020*. Jelgava, 2020, pp. 1018–1022. <https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF238>
15. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A., Briukhanov A. Yu., Vasileva N. S., Vorobyeva E. A. Dimensioning of a concreted pad for manure processing by passive composting. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*, 2020, no. 4 (105), pp. 90–101 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10269>

Информация об авторах

Гордеев Владислав Владимирович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агронженерного центра ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0001-6181-396X>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Миронова Татьяна Юрьевна – кандидат технических наук, научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агронженерного центра ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>. E-mail: mironova-tat@mail.ru

Information about the authors

Vladislav V. Gordeev – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoe Shosse, 196634, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0001-6181-396X>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Tatiana Yu. Mironova – Ph. D. (Engineering), Researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoe Shosse, 196634, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>. E-mail: mironova-tat@mail.ru

Хазанов Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агронженерного центра ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Гордеева Татьяна Ивановна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агронженерного центра ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Миронов Вячеслав Николаевич – кандидат технических наук, ученый секретарь, Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агронженерного центра ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-5393-1146>. E-mail: mironov-vyacheslav@yandex.ru

Viktor E. Khazanov – Ph. D. (Engineering), Leading Research Engineer of the Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Tatyana I. Gordeeva – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

Vyacheslav N. Mironov – Ph. D. (Engineering), Academic Secretary, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation). E-mail: mironov-vyacheslav@yandex.ru

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

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ
PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS

УДК 637.5'712.3.04
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-243-252>

Поступила в редакцию 06.06.2024
Received 06.06.2024

**Marina N. Alshevskaya¹, Dmitriy L. Alshevskiy¹, Yu. V. Mastyugin²,
Faina S. Karneeva¹, Ekaterina P. Bedo³**

¹*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation*

²*College of Mechatronics and Food Industry, Svetly, Russian Federation*

³*Uzbekistan State University of World Languages, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

**COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF NUTRITIONAL VALUE
OF A COMMON BEAVER (*CASTOR FIBER*) INHABITING THE KALININGRAD
REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Abstract. In the Republic of Belarus and the Kaliningrad region, a decrease in the beaver population and use of its meat at meat processing plants is of great relevance. The aim of the present study was a comprehensive assessment of the nutritional value of beaver inhabiting the Kaliningrad region of the Russian Federation, including the study of the amino acid and fatty acid composition of proteins and lipids of muscle tissue and the lipoprotein part of the tail and the design of their mixture. Data is presented on the content of protein, fat, moisture, amino acids and fatty acids in the muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail. The protein content in the muscle tissue made 20.2 %, in the lipoprotein part of the tail – 6.0 %, fat content – 5.1 and 85.1 %, respectively. The amino acid composition of the parts of the beaver carcass is represented by all essential amino acids, however, a number of indicators show an imbalance in the amino acid composition of the protein. To solve the problem of imbalance of essential amino acids, a combined mixture of muscle tissue and lipid-and-protein part of the tail was calculated with an optimal ratio of 72 to 28 %. The protein composition of this mixture is characterized by high biological value – 75 % and a special balance index – 0.87. At the same time, the content of polyunsaturated fatty acids in the combined mixture is 46.6 % of the total mass of lipids, which significantly exceeds the content of saturated (18.3 %) or monounsaturated (35.1 %) fatty acids. Also, the content of essential fatty acids linolic and linoleic is quite high and amounts to 24.0 g / 100 g of lipids and 21.3 g / 100 g of lipids. The engineered blend is a rich source of essential fatty acids. The conducted studies have resulted in actual data on the chemical composition and safety indicators of the river beaver inhabiting the Kaliningrad region, as well as in the optimal ratio of muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail.

Keywords: meat products, amino acid composition, biological value, lipoprotein part, engineering

For citation: Alshevskaya M. N., Alshevskiy D. L., Mastyugin Yu. V., Karneeva F. S., Bedo E. P. Comprehensive assessment of nutritional value of a common beaver (*Castor fiber*) inhabiting the Kaliningrad region of the Russian Federation. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 243–252. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-243-252>

М. Н. Альшевская¹, Д. Л. Альшевский¹, Ю. В. Мастюгин², Ф. С. Карнеева¹, Е. П. Бедо³

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Российской Федерации

² Колледж мекатроники и пищевой индустрии, Светлый, Российской Федерации

³ Узбекский государственный университет мировых языков, Ташкент, Республика Узбекистан

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ БОБРА ОБЫКНОВЕННОГО (*CASTOR FIBER*),
ОБИТАЮЩЕГО В КАЛИНИНГРАДСКОМ РЕГИОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Аннотация. В Республике Беларусь и Калининградском регионе (Российская Федерация) актуальным является уменьшение численности популяции бобра и использование его мяса на мясоперерабатывающих предприятиях. Целью исследования являлась комплексная оценка пищевой ценности бобра, обитающего в Калининградском регионе, включающая изучение аминокислотного и жирнокислотного состава белков и липидов мышечной ткани и липидно-белковой части хвоста и проектирование их смеси. Представлены данные по содержанию белка, жира, влаги, аминокислот и жирных кислот в мышечной ткани и липидно-белковой части хвоста бобра. Содержание белка в мы-

шечной ткани составило 20,2 %, в липидно-белковой части хвоста – 6,0 %, жира – 5,1 и 85,1 % соответственно. Аминокислотный состав частей тушки бобра представлен всеми незаменимыми аминокислотами, однако ряд показателей указывают на несбалансированность аминокислотного состава белка. Для решения задачи несбалансированности незаменимых аминокислот была рассчитана комбинированная смесь мышечной ткани и липидно-белковой части хвоста с оптимальным соотношением 72 к 28 %. Белковый состав данной смеси характеризуется высокими значениями показателя биологической ценности – 75 % и частного индекса сбалансированности – 0,87. При этом содержание полиненасыщенных жирных кислот в комбинированной смеси – 46,6 % от общей массы липидов, что значительно превышает содержание насыщенных (18,3 %) или мононенасыщенных (35,1 %) жирных кислот. Также содержание незаменимых жирных кислот линолевой и линоленовой довольно высоко и составляет 24,0 г / 100 г липидов и 21,3 г / 100 г липидов. Спроектированная смесь является богатым источником незаменимых жирных кислот. В результате проведенных исследований получены актуальные данные по химическому составу и показателям безопасности бобра речного, обитающего в Калининградском регионе, а также оптимальное соотношение мышечной ткани и липидно-белковой части хвоста бобра.

Ключевые слова: регулирование популяции бобра, мясная продукция, аминокислотный состав, биологическая ценность, липидно-белковая часть, проектирование

Для цитирования: Комплексная оценка пищевой ценности бобра обыкновенного (*Castor fiber*), обитающего в Калининградском регионе Российской Федерации / М. Н. Альшевская, Д. Л. Альшевский, Ю. В. Мастюгин [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 243–252. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-243-252>

Introduction. Scientists from the laboratory of population ecology of terrestrial vertebrates and bioresource management of the State Scientific and Production Association “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources” strongly believe that the number of beavers in Belarus is two times higher than the permissible norm. Population of beavers counted up to 75 thousand in certain years in Belarus, which doubles the permissible norm. According to the National Academy of Sciences of Belarus, the number of these animals must be reduced in half. To reduce the number of beavers, the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus annually develops plans stipulating number of animals allowed to be taken away. However, these plans are not implemented in full [1].

Over the past few years, population of beaver (*Castor fiber* Linnaeus, 1758) in the Kaliningrad region has been rapidly increasing. According to the monitoring data as of April 1, 2016, the number of beavers in the region at the rate of 1–2 thousand was about 6 thousand specimens. Due to their biological peculiarities, rodents build their huts and dams, changing the state of water bodies located in their habitat, which leads to flooding of territories [2]. Beavers have few natural enemies, and hunting (shooting) remains the only way to minimize the harm caused by these animals. The difficulty of catching, low prices for fur, low demand for the paired endocrine glands of the beaver (which are used for medicinal purposes) have led to a significant decrease in the attention to it as a commercial animal.

A number of problems are known that hinder widespread distribution of beaver meat in the meat processing industry. The main ones are ensuring microbiological and sanitary and hygienic safety of meat, preventing contamination at the stages of extraction and transportation to the enterprise for further processing; lack of up-to-date data on the characteristics of beaver meat produced in the Kaliningrad region and technologies for its complex processing.

The physical and chemical parameters of beaver meat are significantly influenced by their habitat and, based on this, the diet. These rodents are herbivorous, which has a positive effect on the nutritional value of meat and its organoleptic characteristics. At this point in time, studies of the biochemical composition of beaver meat are presented by Lithuanian, Polish and Belarusian researchers. However, there are no data on the study of the chemical composition, microbiological, sanitary and hygienic indicators of this animal living in the Kaliningrad region.

The concept of the nutritional value of a meat product includes a set of indicators, including a set of physical and chemical indicators (mass fraction of protein, lipids and moisture), medical and biological requirements, biological value of proteins, lipids, etc. According to literary sources, the nutritional value of beaver meat is characterized by a high level of protein and low fat content [3]. But at the same time, its amino acid composition is not balanced, and the fatty acid composition is characterized by a low content of monounsaturated fatty acids [4]. The possible solution to this problem is the design of a multicomponent meat product capable of providing a high level of adequacy of the biological value of protein and lipids

in accordance with the rated values presented in Methodical guidelines 2.3.1.0253-21 Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of population of the Russian Federation.

Researchers from the Russian Federation, Belarus, Poland, Latvia, and the Czech Republic addressed the issue of processing beaver meat (*Castor fiber* Linnaeus, 1758).

Polish authors B. Jankowska, T. Tomijewski, A. Kwiatkowska, W. Korzeniowski conducted a study of the meat composition of ten female and seven male mature European beavers, determined the meat yield during cutting, the percentage of certain elements and the chemical composition of the meat. They found that the beaver thigh is the largest and most valuable element, accounting for 33.4 % of the carcass weight and containing 66.7 % of meat, and the muscle tissue is characterized by a high concentration of protein (20.9–21.8 % of the raw weight) and mineral substances (1.27–1.31 %) [5].

Latvian authors V. Strazdina, V. Stena, A. Jemeljanova published data on the biochemical composition of beaver meat (*Castor fiber* L.) caught in Latvia. It was concluded that the protein content in the beaver meat samples made 20.07–22.68 %, and the fat content made 3.31–5.27 %. At the same time, the content of polyunsaturated fatty acids in beaver meat samples (42.54 %) was significantly higher than the content of saturated (26.80 %) or monounsaturated (27.42 %) fatty acids. The ratio of polyunsaturated fatty acids n-6 : n-3 in beaver meat samples made 1.26 [6].

The analysis of the biochemical composition and determination of the value of beaver river meat, microbiological safety indicators of chilled meat at various stages of storage were carried out by researchers from Belarus A. M. Mitrenkov, O. L. Buzo [3].

A group of Czech authors V. Razmaite, R. Šveistiene, G. J. Švirmickas studied not only the chemical composition of European beaver meat, but also its suitability for sausage production. The researchers found the optimal beaver meat content of 20–40 %, which had the most positive effect on the texture and taste of sausage products [4].

Another group of researchers from Poland, K. Zalewski, D. Martysiak-Żurowska, M. Chylińska-Ptak, B. Nitkiewicz, separated and analyzed fatty acids from lipids of muscle and adipose tissue of the European beaver. The study showed that the fat content in the muscle tissue was very low in both male and female beavers. The lipids of the beaver's adipose tissue contained fatty acids with a chain length of 12 to 22 carbon atoms, and polyunsaturated fatty acids had the highest proportion of the total fatty acid content in the beaver's adipose tissue.

According to the available data, the beaver tail is often underutilized in the production of meat products. Comprehensive processing of beaver carcasses and the use of the lipid-and-protein part of the tail, which is 10 % of the total mass of the carcass, can solve the problem of optimizing the protein composition by designing their ratio in the mixture.

The aim of this work is a comprehensive assessment of the nutritional value of the beaver inhabiting the Kaliningrad region of the Russian Federation, including the study of the amino acid and fatty acid composition of proteins and lipids of muscle tissue and the lipoprotein part of the tail and the design of their mixture, determination of sanitary-and-hygienic and microbiological safety indicators of beaver meat.

To pursue this goal, the following tasks have been set:

- 1) to determine sanitary-and-hygienic and microbiological indicators of the beaver meat safety;
- 2) to establish chemical composition of the beaver carcass parts (muscle tissue of the back of the carcass and lipoprotein part of the tail);
- 3) to assess amino acid composition of muscle tissue proteins and the lipoprotein part of the beaver tail and draw a conclusion about their balance;
- 4) to design and optimize amino acid composition of the complex mixture of muscle tissue and lipoprotein part of the tail;
- 5) to assess fatty acid composition of beaver carcass parts.

Materials and Methods. For laboratory studies, specimens of the river beaver were used (*Castor fiber* Linnaeus, 1758), caught in fall during the established hunting season (8.08.2020–15.11.2020) in the Gvardeisk district in the Kaliningrad region of the Russian Federation. The animals were approximately two years old; the specimens' weight was (21 ± 1) kg. The back of the carcass and tail were taken for analysis. The lipoprotein part of the tail was examined before and after heat treatment (boiling at 95 °C for 45 minutes).

Laboratory studies have been carried out in the Atlantic branch of the Federal State Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography” (“AtlantNIRO”) in the Russian Federation in accordance with the methods presented in Table 1.

Table 1. Methods for determining sanitary and hygienic indicators of the beaver meat

Name of the indicator to be determined	Regulatory documentation for the test procedure
Cadmium	National state standard 30178-96
Arsenicum	National state standard 31707-2012
Mercury	Methodological guidelines 4.1.1472-03
Lead	National state standard 30178-96
Hexachlorocyclohexane (alpha-, beta-, gamma-isomers)	Methodological guidelines 2142-80
DDT and its metabolites	Methodological guidelines 2142-80
Coliform bacteria	National state standard P 54354-2011
QMAFAnM	National state standard P 54354-2011
<i>L. monocytogenes</i>	National state standard P 54354-2011
Pathogenic microorganisms, including salmonella	National state standard P 54354-2011
Protein	National state standard 25011-2017
Fat	National state standard 23042-2015
Moisture	National state standard 33319-2015
Amino acid composition	Methodological guidelines 04-38-2009
Fatty acid composition	National state standard P 55483-2013

Calculations of biological value indicators have been carried out according to the methods of N. N. Lipatov and A. B. Lisitsyn [7–12]. The amino acid rate (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)) of the muscle tissue protein and lipoprotein part of the tail has been calculated relative to the ideal protein according to the 2011 FAO / WHO scale, as well as the coefficient of difference in amino acid composition (KRAS), the overall utility coefficient of (U), index of comparable redundancy (PSI), index of amino acid composition balance (ISAS) and balance of fatty acid composition.

Results and Discussion. Safety performance of beaver meat is influenced by many factors. Among them, the most important are habitat, shooting time, transportation of carcasses from the place of slaughter to the procurement and meat processing enterprises. These factors increase the risk of exceeding the microbial contamination of meat, whereas the content of toxic elements and pesticides in muscle tissue depends on the animal diet and its habitat.

Sanitary-and-hygienic and microbiological requirements for beaver meat in accordance with TR CU 021/2011 and the results of laboratory tests of samples are presented in Table 2.

Table 2. Sanitary-and-hygienic and microbiological indicators of the beaver meat

Name of the indicator to be determined	Permissible levels	Test results
<i>Sanitary-and-hygienic indicators</i>		
Toxic elements		
Lead	Not more than 0.50 mg/kg	0.110 mg/kg
Mercury	Not more than 0.03 mg/kg	0.006 mg/kg
Arsenicum	Not more than 0.10 mg/kg	0.050 mg/kg
Cadmium	Not more than 0.05 mg/kg	0.017 mg/kg
Pesticides		
Hexachlorocyclohexane (alpha-, beta-, gamma-isomers)	Not more than 0.10 mg/kg	Less than 0.005 mg/kg
DDT and its metabolites	Not more than 0.10 mg/kg	Less than 0.005 mg/kg
<i>Microbiological indicators</i>		
<i>Coliform bacteria</i>	Not allowed in 0.01 g of a product	Not found in 0.01
QMAFAnM	Not more than 1×10^4 CFU/g	3.2×10^3 CFU/g
<i>L. monocytogenes</i>	Not allowed in 25 g of a product	Not found in 25 g
Pathogenic microorganisms, including salmonella	Not allowed in 25 g of a product	Not found in 25 g

As can be seen from Table 2, microbiological indicators, toxic elements, heavy metals and pesticides do not exceed the permissible levels established by the regulatory documents, which indicates beaver meat safety and its suitability for technological processing.

Chemical composition of the hinder part of the beaver carcass and the lipoprotein part of the tail before and after heat treatment is shown in Table 3.

Table 3. Chemical composition of the beaver carcass parts

Carcass part	Composition, %			Energy value, kcal
	Protein	Fat	Moisture	
Hinder part (muscle tissue)	20.2 ± 0.8	5.1 ± 0.2	74.7 ± 3.3	126.7
Lipoprotein part of the tail without heat processing	6.1 ± 0.3	85.1 ± 4.3	8.9 ± 0.4	790.3
Lipoprotein part of the tail with heat processing	6.0 ± 0.3	85.1 ± 4.3	8.8 ± 0.4	789.9

Table 3 shows that the beaver muscle tissue has high protein content (20.2 %), while the fat content is low (5.1 %). The lipoprotein part of the beaver tail is mainly represented by fat tissue (85.1 %), the protein content is low and amounts to 6.0–6.1 % of the total mass.

The obtained data on the protein content in beaver muscle tissue correlate with the data presented for similar research facilities in the nearby regions of Poland, the Czech Republic, Latvia and Belarus [3–6, 13]. Analyzing the chemical composition, the researchers noted a high protein content in beaver muscle tissue of 21.44 % in a Polish study [13], in the range of 20.07–22.68 % in a study by Latvian authors [6], 21.44 % in an article by Czech authors [11] and 19.7–20.6 % in an article by authors from Belarus [3]. The results of the lipid content in beaver meat, presented by Czech authors – 5.08 % [4] and Latvian authors – 3.31–5.27 % [6], do not differ much and the deviation of the values in the obtained indicators is insignificant and is due to the difference in the habitat of animals and the time of extraction.

Assessment of the amino acid composition of the protein of muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail is presented in Table 4.

Table 4. Assessment of amino acid composition of the protein of muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail

Indicators		Hinder part of the beaver carcass (muscle tissue)		Lipoprotein part of the tail (without heat processing)		Lipoprotein part of the tail (with heat processing)				
Indispensable amino acid (IAA)	Content of IAA in "reference" protein g/100 g of a protein	Content of IAA, g/100 g of a product	Content of IAA, g/100 g of a protein	Amino acid score, %	Content of IAA, g/100 g of a product	Content of IAA, g/100 g of a protein	Amino acid score, %	Content of IAA, g/100 g of a product	Content of IAA, g/100 g of a protein	Amino acid score, %
Val	4.3	0.8	3.8	87.5	0.6	10.2	236.4	0.5	8.3	193.8
Ile	3.2	0.7	3.6	111.4	0.2	2.5	76.8	0.1	1.8	57.3
Leu	6.6	1.3	6.6	100.5	0.3	4.6	69.5	0.2	3.5	53.0
Lys	5.7	1.4	7.1	124.2	0.4	5.7	100.7	0.3	4.7	81.9
Met + Cys	2.7	0.4	1.7	64.2	0.3	4.6	170.0	0.3	4.2	154.3
Thr	3.1	0.7	3.3	105.4	0.5	8.2	264.4	0.5	8.3	268.8
Trp	0.9	0.1	0.5	58.2	0.1	1.6	192.9	0.1	1.7	196.1
Phe + Tyr	5.2	1.1	5.5	105.7	0.3	4.1	78.8	0.3	4.2	80.1
Total amount of the calculated IAA		32.03		41.48		36.67				
KRAS, %		36.39		79.14		82.64				
BV, %		63.61		20.86		17.36				
U		0.58		0.53		0.46				
PSI		0.23		0.28		0.37				
ISAS		0.82		0.61		0.58				

As can be seen from Table 4, protein of the beaver muscle tissue has the most balanced amino acid composition. Its limiting amino acid is tryptophan with an amino acid rate of 58 %. The biological value of muscle tissue protein is 64 %. And the special balance coefficient (ISAS) is closest to 1 and is 0.82. The utility coefficient of the amino acid composition (U) and the index of comparable redundancy, which should tend to 0, in the muscle tissue are 0.58 and 0.23, which indicates an imbalance of amino acids relative to the physiological norm. The protein of the lipoprotein part of the tail is largely unbalanced in amino acid composition. The limiting amino acid is leucine (amino acid rate 69 and 53 %). It is also characterized by a low biological value (20.86 and 17.36 %) and a high KRAS (79 and 82 %). The special balance coefficient (ISAS) is satisfactory and is 0.61 and 0.58, and the utility coefficient (U), on the contrary, is significantly higher than zero (0.53 and 0.46).

An important role in assessing the quality of a product is played not only by the biological value of the protein, but also by the balance of the fatty acid composition of the fat tissue. The nutritional value of lipids is characterized by the content of saturated fatty acids (SAFA), monounsaturated fatty acids (MUFA) and especially by polyunsaturated fatty acids (PUFA), the main groups of which are n-3 and n-6 acids.

The obtained data on the content of SAFA, MUFA and PUFA in the lipids of muscle tissue, lipoprotein part of the tail and calculated in their mixture are presented in Table 5.

Table 5. Fatty acid composition in the lipids in the beaver carcass parts and in the complex mixture

Name of the fatty acid	Acid code	Content of fatty acids in the lipids, g/100 g of lipids	
		Muscle tissue	Lipoprotein part of the tail
Myristic	C _{14:0}	1.10 ± 0.06	0.90 ± 0.05
Myristoleic	C _{14:1}	0.40 ± 0.02	0.60 ± 0.03
Pentadecanoic	C _{15:0}	1.60 ± 0.08	1.30 ± 0.07
Pentadecenic	C _{15:1}	0.00	0.20 ± 0.01
Palmitinic	C _{16:0}	15.50 ± 0.77	12.00 ± 0.60
Palmitoleic	C _{16:1}	1.50 ± 0.08	8.30 ± 0.42
Heptadecylic	C _{17:0}	2.30 ± 0.12	0.90 ± 0.04
Heptadecenoic	C _{17:1}	1.30 ± 0.07	1.80 ± 0.09
Stearinic	C _{18:0}	5.10 ± 0.25	2.00 ± 0.10
Oleinic	C _{18:1n-9c}	17.70 ± 0.88	25.20 ± 1.26
Linolic	C _{18:1n-6c}	32.90 ± 1.64	22.60 ± 1.13
Linoleic	C _{18:3n-3}	18.70 ± 0.93	21.70 ± 1.08
Heneicosanic	C _{20:0}	0.40 ± 0.02	0.00
Gadoleic	C _{20:1}	0.70 ± 0.03	1.10 ± 0.06
Eicosadienoic	C _{20:2}	0.40 ± 0.02	0.30 ± 0.02
Arachidonic	C _{20:4n-6}	0.40 ± 0.02	0.70 ± 0.03
Docosapentaenoic	C _{22:5}	0.00	0.40 ± 0.02
ΣSAFA		26.00 ± 1.30	17.10 ± 0.86
ΣMUFA		21.60 ± 1.08	37.20 ± 1.86
ΣPUFA		52.40 ± 2.62	45.70 ± 2.29
Coefficient of the fatty acid balance, unit fraction R _{Li}	I = 1...3	0.39	0.43
	I = 1...6	0.24	0.29
n-6 : n-3		1.78	1.07

From the data presented in Table 5 and Figure 1, it can be concluded that the fatty acid composition of lipids of muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail is largely represented by polyunsaturated fatty acids. The ratio of n-3 (linolenic acid) and n-6 (linoleic acid) in muscle tissue made 1.78, and in the lipoprotein part of the beaver tail it made 1.07, which is sufficient to satisfy the daily human need for these acids.

The amino acid and fatty acid composition of the beaver carcass parts, as can be seen from the data in Tables 4 and 5, are not balanced.

The problem of imbalance in the amino acid composition of the beaver carcass parts can be solved by designing protein by means of combining muscle tissue and lipoprotein part of the tail in optimal

ratios. Due to the fact that the mechanical separation of the skin surface of the beaver tail from the lipoprotein part is rather laborious and leads to damage to the raw material, a technology has been developed for treating the beaver tail with an enzyme preparation followed by heat treatment. Therefore, for the design it is necessary to use the data of the heat-treated lipoprotein part of the tail.

Design and optimization of the amino acid composition of the complex mixture (CM) of the muscle tissue and lipoprotein part of the tail has been carried out using the “Index – PPAp” software for modeling combined food products, developed at the Department of Food Products Technology of the Federal State Educational Institution of Higher Education “Kalininograd State Technical University”. This software allows the protein design of a food product with a balanced composition of essential amino acids. To analyze the calculated data on the partial balance index of the amino acid composition, which tends to 1, the Harrington logistic desirability function has been applied. According to it, the desirability indices have been assigned to the values of the intervals that the partial index of the balance of the amino acid composition can take. So, if the values of the ISAS coefficient fell into the interval (0...0.2), then the function displays the assessment “very bad”, (0.2...0.37) – “bad”, (0.37...0.63) – “satisfactory”, (0.63...0.8) – “good” and (0.8...1) – “very good”.

The design result using the above program is shown in Figure 1 and Table 6.

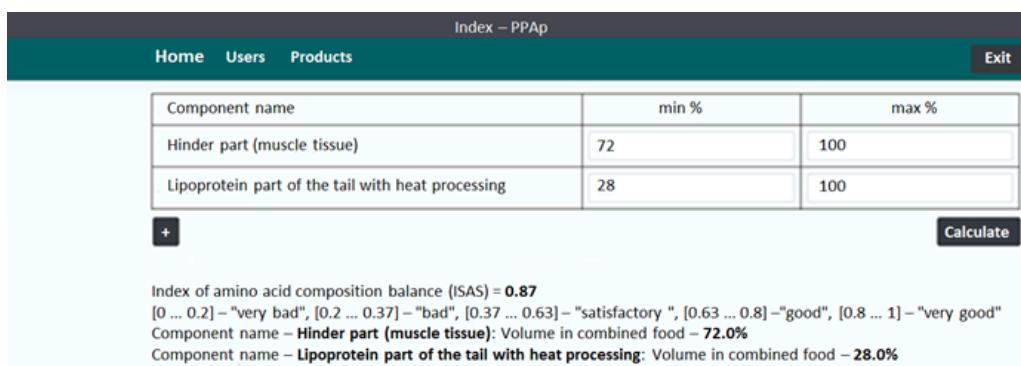


Figure 1. Result of calculation by “Index – PPAp” software

As can be seen from Figure 1, the best ratio of muscle tissue and lipoprotein part of the beaver tail is 72 and 28 %. This ratio provides a high ISAS indicator (0.87), which corresponds to “very good” value.

Table 6 presents an estimate of the amino acid composition of the protein in the mixture of muscle tissue and lipoprotein part of the tail.

Table 6. Assessment of the amino acid composition of the protein in the mixture of muscle tissue and lipoprotein part of the tail

Component	Mass fraction in CM, %	Mass fraction of protein, %	Content of indispensable amino acids, g/100 g of a protein							
			Val	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Thr	Trp	Phe + Tyr
Muscle tissue	72	20.2	3.8	3.6	6.6	7.1	1.7	3.3	0.5	5.5
Lipoprotein part of the tail	28	6.0	8.3	1.8	3.5	4.7	4.2	8.3	1.7	4.2
Protein content in CM	16.2	Val	Iso	Leu	Lys	Met + Cys	Thr	Trp	Phe + Tyr	
Content of IAA in CM g/100 g of a product	4.2	3.4	6.3	6.8	2.0		3.8	0.6	5.4	
Content of IAA in a protein according to FAO/WHO (reference)	4.3	3.2	6.6	5.7	2.7		3.1	0.9	5.2	
Amino acid score, %	98.5	105.8	95.6	119.8	73.5	122.3	72.5		103.0	
KRAS, %							23.40			
BV, %							75.10			
U							0.04			
PSI							0.10			
ISAS							0.87			

As can be seen from Table 6, the projected ratio of muscle tissue and lipoprotein filler (72 to 28 %) allows for the best balance of the amino acid composition of the product, at which the biological value of the protein is 75 %, the utility coefficient and the indicator of comparable redundancy tend to zero.

For a visual display of the result of the program, Figure 2 shows a histogram of comparison of the amino acid rates of the components of the formulation and the designed product.

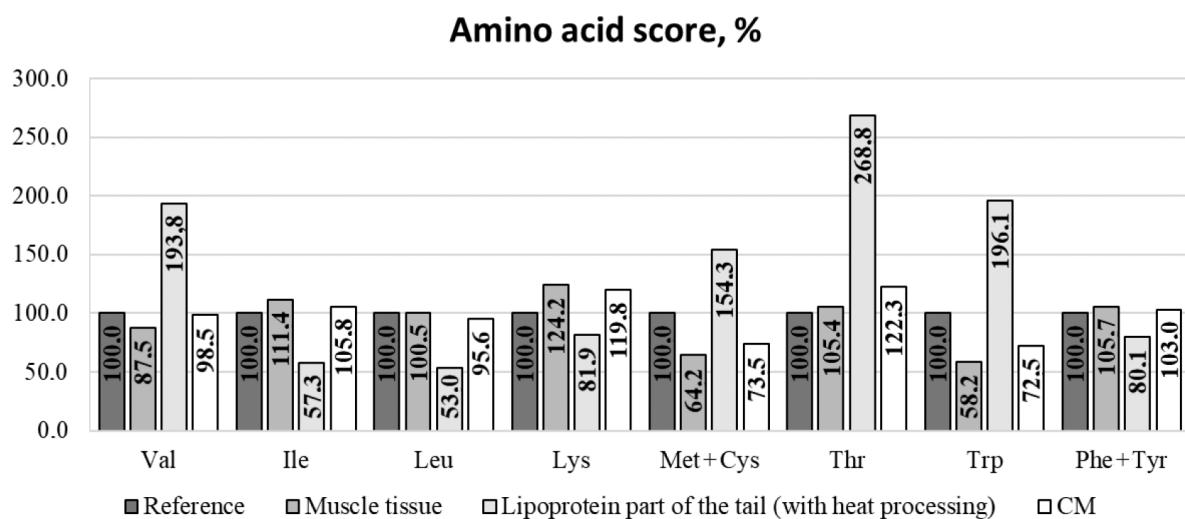


Figure 2. Histogram of amino acid rates comparison

The histogram in Figure 2 shows that the difference between the rates of essential amino acids of muscle tissue and the lipoprotein part of the beaver tail is smoothed in the complex mixture, which indicates that the selected ratio of components is satisfactory.

Fatty acid balance of muscle tissue lipids, beaver tail and the combined mixture is presented in Table 7.

Table 7. Fatty acid balance of the muscle tissue lipids, lipoprotein part of the beaver tail and their mixture

Indicator		Reference, g/100 g of lipids	Muscle tissue lipids, g/100 g of lipids	Lipids of the lipoprotein part of the tail, g/100 g of lipids	CM lipids, g/100 g of lipids
Σ SAFA		30.0	26.0	17.10	18.29
Σ MUFA		60.0	21.60	37.20	35.12
Σ PUFA		10.0	52.40	45.70	46.59
Linolic acid		7.5	32.90	22.60	23.98
Linoleic acid		1.0	18.70	21.70	21.30
Arachidonic acid		1.5	0.40	0.70	0.66
Coefficient of the fatty acid balance, unit fraction R_{Li}	I = 1...3	1.0	0.39	0.43	0.42
	I = 1...6	1.0	0.24	0.29	0.28
n-6 : n-3		7.5	1.78	1.07	1.16

From the data presented in Table 7, it can be seen that the content of monounsaturated fatty acids in the lipoprotein part of the tail is 1.7 times higher than in muscle tissue, and the content of polyunsaturated and saturated fatty acids is 1.1 times less. The ratio of PUFA: SAFA in muscle tissue is 2.0, in the lipoprotein part of the tail – 2.7. Fatty acid balance coefficient calculated by SAFA, MUFA and PUFA $R_{Li} = 1\dots 3$ and taking into account the contribution of individual balance of linolic, linoleic and arachidonic fatty acids $R_{Li} = 1\dots 6$ corresponds to a high content of polyunsaturated fatty acids in the product.

The calculated values of the coefficients of fatty acid balance of the CM R_{Li} (1...3) = 0.42 and R_{Li} (1...6) = 0.28 [2].

Conclusion. Actual data have been obtained on the nutritional value of the muscle tissue and the lipoprotein part of the tail of the beaver inhabiting the Kaliningrad region, including sanitary-and-hygienic and microbiological safety indicators. Beaver muscle tissue is characterized by a high protein content (20.2 %) and a small amount of adipose tissue, while the lipid-and-protein part of the tail contains mainly lipids (85.1 %). The amino acid and fatty acid composition of proteins and lipids of muscle tissue and the lipid-and-protein part of the beaver tail was studied, and based on these data, the optimal ratio of these components in the mixture was designed, which made 72 and 28 %. The fatty acid composition of lipids in muscle tissue and the lipid-and-protein part of the beaver tail is mainly represented by polyunsaturated fatty acids (52.4 g / 100 g of lipids and 45.7 g / 100 g of lipids, respectively).

Based on the foregoing, it can be concluded that the data obtained on muscle tissue and lipoprotein part of the beaver inhabiting the Kaliningrad region can be used as comparative materials for the analysis of the physicochemical composition of the beaver carcass parts, and the results of designing the optimal ratio between muscle tissue and lipoprotein part of the beaver tail in a mixture (ratio 72 to 28 %) are applicable for the development of formulations for meat products.

Acknowledgments. The authors' team expresses their gratitude to the senior executives of the State Budgetary Institution of the Kaliningrad Region Professional Educational Organization "College of Mechatronics and Food Industry" (Russian Federation, Kaliningrad Region, the city of Svetly) for their assistance in conducting scientific research on the topic "Improving the technology of sausages from food components of beaver (*Castor fiber* Linnaeus, 1758)" and the release of experimental sausages with structured lipoprotein fillers on the modern equipment of the "Resource Center of the Meat Processing Industry" of the College of Mechatronics and Food Industry.

Благодарности. Коллектив авторов статьи выражает благодарность руководству Государственного бюджетного учреждения Калининградской области профессиональной образовательной организации «Колледж мехатроники и пищевой индустрии» (Российская Федерация, Калининградская область, г. Светлый) за оказанное содействие в проведении научных исследований по теме «Совершенствование технологии колбасных изделий из пищевых компонентов бобра обыкновенного (*Castor fiber* Linnaeus, 1758)» и выпуска опытных колбасных изделий со структурированными липидно-белковыми наполнителями на современном оборудовании Ресурсного центра мясоперерабатывающей отрасли Колледжа мехатроники и пищевой индустрии.

References

1. The number of beavers in Belarus is two times higher than the permissible norm. *BELTA*. Available at: <https://www.belta.by/society/view/chislennost-bobrov-v-belarusi-v-dva-raza-vyshe-dopustimoj-normy-14823-2013> (accessed 19 March 2024) (in Russian).
2. Medvedeva E. *Harmful animal: is it necessary to exterminate beavers in the Kaliningrad region*. Available at: <https://klops.ru/news/obschestvo/147796-vrednyy-zver-nado-li-istrebyat-bobrov-v-kaliningradskoy-oblasti> (accessed 19 March 2024) (in Russian).
3. Mitrenkov A. M., Buzo O. L. Value of meat of the beaver river. *Trudy BGU = Proceedings of BSTU*, 2016, no. 1 (183), pp. 264–268 (in Russian).
4. Razmaite V., Šveistiene R., Švirmickas G. J. Compositional characteristics and nutritional quality of Eurasian beaver (*Castor fiber*) meat. *Czech Journal of Food Sciences*, 2011, vol. 29, no. 5, pp. 480–486. <https://doi.org/10.17221/313/2010-CJFS>
5. Jankowska B., Źmijewski T., Kwiatkowska A., Korzeniowski W. The composition and properties of beaver (*Castor fiber*) meat. *European Journal of Wildlife Research*, 2005, vol. 51, no. 4, pp. 283–286. <https://doi.org/10.1007/s10344-005-0102-3>
6. Strazdina V., Sterna V., Jemeljanovs A., Jansons I., Ikauniece D. Investigation of beaver meat obtained in Latvia. *Agronomy Research*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 1096–1103.
7. Gushchin V. V., Stefanova I. L., Krasyukov Yu. N., Shakhnazarova L. V. Influence of thermal heating on the fatty acid composition of turkey meat enriched with linseed oil. *Teoriya i praktika pererabotki myasa = Theory and Practice of Meat Processing*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 62–74 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2114-441X-2016-1-62-74>
8. Lipatov N. N., Lisitsyn A. B., Yudina S. B. Improving the design methodology for the biological value of food products. *Myasnaya industriya = Meat Industry*, 1996, no. 1, pp. 14–15 (in Russian).
9. Lipatov N. N., Sazhinov G. Yu., Bashkirov O. I. Formalized analysis of amino and fatty acid balance of raw materials, promising for the design of baby food products with specified nutritional adequacy. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2001, no. 8, pp. 11–14 (in Russian).
10. Lisin P. A. *Computer modelling of production processes in the food industry*. St. Petersburg, Lan' Publ., 2016. 256 p. (in Russian).

11. Lisin P. A., Moliboga E. A., Kanushina J. A., Smirnova N. A. Assessment of the amino acid composition of the recipe mixture of food products. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2012, no. 3 (95), pp. 26–28 (in Russian).
12. Lisin P. A., Mussina O. N., Kister I. V., Chernopolskaya N. L. Evaluation of sound amino acid composition of multi-food. *Vestnik Omskogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk State Agrarian University*, 2013, no. 3 (11), pp. 53–58 (in Russian).
13. Zalewski K., Martysiak-Żurowska D., Chylińska-Ptak M., Nitkiewicz B. Characterization of fatty acid composition in the European beaver (*Castor fiber L.*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 493–499.

Information about the authors

Marina N. Alshevskaya – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>. E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Dmitriy L. Alshevskiy – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>. E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Yuri V. Mastyugin – Teacher, College of Mechatronics and Food Industry (7, Kommunisticheskaya St., 238347, Svetly, Kaliningrad Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-9057-6035>. E-mail: mail@proftop39.ru

Faina S. Karneeva – Postgraduate Student, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-9487-7756>. E-mail: faina.karneeva@klgtu.ru

Ekaterina P. Bedo – Postgraduate Student, Uzbekistan State University of World Languages (21a, Kichik Khalka Yuli St., Block G-9a, Uchtempa District, 100173, Tashkent, Republic of Uzbekistan). <https://orcid.org/0009-0006-3271-7876>. E-mail: katerinabedo@gmail.com

Информация об авторах

Альшевская Марина Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет (пр. Советский, 1, 236022, Калининград, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>. E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Альшевский Дмитрий Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет (пр. Советский, 1, 236022, Калининград, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>. E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Мастюгин Юрий Викторович – преподаватель Колледжа мехатроники и пищевой индустрии (ул. Коммунистическая, 7, 238347, Светлый, Калининградская область, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0001-9057-6035>. E-mail: mail@proftop39.ru

Карнеева Файна Сергеевна – аспирант, Калининградский государственный технический университет (пр. Советский, 1, 236022, Калининград, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-9487-7756>. E-mail: faina.karneeva@klgtu.ru

Бедо Екатерина Павловна – аспирант, Узбекский государственный университет мировых языков (ул. Кичик Халка Йули, 21а, квартал Г-9а, Учтепинский район, 100173, Ташкент, Республика Узбекистан). <https://orcid.org/0009-0006-3271-7876>. E-mail: katerinabedo@gmail.com

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 602.3:579.864

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Поступила в редакцию 31.01.2025

Received 31.01.2025

А. П. Никифорова¹, В. М. Позняковский²

¹ Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Российская Федерация

БАКТЕРИАЛЬНАЯ ЗАКВАСКА *LATILACTOBACILLUS SAKEI* НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Аннотация. Молочная сыворотка широко применяется в качестве основы для питательной среды при производстве бактериальных заквасок, однако в последние годы научный интерес представляют бактериальные культуры на основе растительного сырья. Наиболее часто для создания пробиотических бактериальных культур используются штаммы молочнокислых бактерий. Целью работы является разработка технологии производства бактериальной закваски молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на основе рисовой муки. Объектами экспериментальных исследований служили три штамма молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei*, закваски, изготовленные с применением этих штаммов. Для культивирования молочнокислых бактерий использовали полужидкую среду MRS и специально разработанную авторами питательную среду на основе рисовой муки. Рост штаммов *Latilactobacillus sakei* на указанных средах оценивали по количеству жизнеспособных клеток. Установлено, что разработанная новая питательная среда на основе ингредиентов растительного происхождения позволяет получить бактериальные закваски, обладающие хорошими показателями качества и безопасности (соответствуют требованиям технического регламента ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции») и содержащие высокое количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий (не менее 10^8 КОЕ/см³). В результате проведенных исследований разработаны новые технологии производства жидкой и замороженной бактериальных заквасок из растительных ингредиентов, содержащих штаммы *Latilactobacillus sakei*, которые могут применяться при производстве пищевых продуктов.

Ключевые слова: *Latilactobacillus sakei*, молочнокислые бактерии, бактериальные культуры, бактериальные закваски, питательная среда, растительные компоненты

Для цитирования: Никифорова, А. П. Бактериальная закваска *Latilactobacillus sakei* на основе растительных компонентов / А. П. Никифорова, В. М. Позняковский // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 253–264. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Anna P. Nikiforova¹, Valery M. Poznyakovsky²

¹ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation

²Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

PLANT-BASED BACTERIAL STARTER CULTURE *LATILACTOBACILLUS SAKEI*

Abstract. Milk whey is widely used as a main component for a nutrient medium for the production of bacterial starter cultures, but in recent years, bacterial cultures produced from plant-based components have great scientific interest. Lactic acid bacteria strains are often used to create probiotic bacterial cultures. In this regard, the aim of the present study is to develop a technology for the production of a plant-based bacterial starter culture containing *Latilactobacillus sakei*. The objects of experimental studies were three strains *Latilactobacillus sakei*, and starter cultures made with the use of these strains. For the cultivation of lactic acid bacteria, MRS medium and a specially developed nutrient medium based on rice flour were used. The growth of *Latilactobacillus sakei* strains on these media was assessed by the number of viable cells. It has been proved that the new plant-based ingredients nutrient medium allows to obtain bacterial starters with good quality and safety indicators. In terms of safety indicators, they meet the requirements of the Technical Regulation of Customs Union 033/2013 “On the safety of milk and dairy products” and contain a high number of viable cells of lactic acid bacteria (at least 10^8 CFU/cm³). As a result of the study, new technologies have been developed for the production of liquid and frozen plant-based bacterial starter cultures containing *Latilactobacillus sakei* strains, which can be used in the production of food products.

Keywords: *Latilactobacillus sakei*, lactic acid bacteria, bacterial cultures, bacterial starter cultures, nutrient medium, plant components

For citation: Nikiforova A. P., Poznyakovsky V. M. Plant-based bacterial starter culture *Latilactobacillus sakei*. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 253–264 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Введение. В связи с тем, что бактерии могут быть использованы для производства широкого спектра пищевых продуктов и добавок, разработка бактериальных препаратов для пищевой промышленности представляет большой научный интерес. При создании бактериальных культур в основном используются пробиотические микроорганизмы. В соответствии с ГОСТ Р 52349-2005 они относятся к функциональным пищевым ингредиентам. Пробиотики обладают иммуномодулирующими свойствами, улучшают работу пищеварительной системы. Установлено, что регулярное употребление пробиотических продуктов питания положительно влияет на здоровье человека: они оказывают противовоспалительный эффект, обладают антидиабетической активностью, улучшают состояние при аллергии [1, 2]. Некоторые пробиотические штаммы могут применяться для снижения артериального давления у людей с гипертонией, нормализации уровня холестерина, уменьшения уровня тревожности, депрессии и стресса [1].

К наиболее применяемым в качестве пробиотических относятся бактерии родов *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*. Также в составе пробиотических бактериальных препаратов применяются другие виды бактерий, например родов *Propionibacterium*, *Bacillus*, *Enterococcus*, непатогенные штаммы *E. coli*, а также дрожжи, такие как *Saccharomyces boulardii* [3–6].

Молочнокислые бактерии – грамположительные, неспорообразующие микроорганизмы, которые в качестве ключевых продуктов ферментации производят молочную кислоту [7].

Применение молочнокислых бактерий в пищевой промышленности обусловлено рядом преимуществ. Например, их использование обеспечивает снижение активной кислотности среды, а многие штаммы молочнокислых бактерий способствуют формированию уникальных органолептических характеристик пищевых продуктов в результате образования соединений вкуса и аромата. К другим положительным свойствам молочнокислых бактерий относятся повышение безопасности и увеличение сроков годности пищевых продуктов [8].

Вызывает большой интерес использование молочнокислых бактерий для биоконсервации пищевого сырья. Установлено, что они способны продуцировать антимикробные вещества, которые обеспечивают угнетение патогенной и условно-патогенной микрофлоры.

Молочнокислые бактерии имеют высокий пробиотический потенциал. Пробиотические молочнокислые бактерии могут быть выделены из различных источников, таких как продукты питания, желудочно-кишечный тракт человека и животных и т. д. Например, авторы работы [9] проводили отбор пробиотических штаммов молочнокислых бактерий из египетских сыров. В результате из 33 выделенных штаммов было отобрано три штамма (*L. paracasei* BD3, *L. plantarum* BR4 и *L. fermentum* MR2), которые могут применяться в качестве пробиотиков.

Вид *Latilactobacillus sakei* достаточно распространен в природе. Бактерии этого вида были обнаружены в составе микрофлоры различных продуктов питания, в том числе напитков (саке), мясных продуктов (ферментированные колбасы), продуктов из овощей (квашеная капуста, кимчи и т. д.) [10–13]. Бактерии этого вида являются перспективными для применения в качестве пробиотиков.

В последнее время получили распространение бактериальные культуры и питательные среды, созданные с использованием растительных компонентов [14–17]. Это обусловлено ростом спроса на веганские продукты питания, которые должны изготавливаться без ингредиентов животного происхождения. Еще одной причиной создания бактериальных культур из растительных компонентов является то, что многие бактериальные закваски производятся с применением молочной сыворотки, которая содержит лактозу. Лактазная недостаточность (представляет собой вариант дисахариазной недостаточности, в основе которой лежит нарушение расщепления лактозы) является распространенным состоянием в современном мире. В связи с этим растет спрос на продукцию, которая не содержит лактозы.

Так, авторы работы [14] изучали рост четырех штаммов молочнокислых бактерий и двух штаммов бифидобактерий, таких как *Lactobacillus acidophilus* (MJLA1 и La-5), *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* (LCSH1 и 01), *Bifidobacterium lactis* (BDBB2 и Bb-12), на пяти средах из растительных ингредиентов. Наилучшей для роста изучаемых штаммов была признана среда, содержащая 25 г/л соевого пептона, дрожжевой экстракт и моногидрат глюкозы.

В [15] исследуется возможность замены порошками семян растений мясного экстракта, дрожжевого экстракта, пептона в стандартной среде MRS для применения в составе вегетарианских продуктов питания. Исследование проводилось на одном из штаммов *Lactobacillus lactis*. Наилучшие результаты получены при использовании питательной среды с применением экстракта семян бобовых.

Исследования ряда ученых были направлены на разработку питательной среды на основе ингредиентов растительного происхождения для *Lactobacillus paracasei* IMC502. В работе [16] показано, что питательная среда, предназначенная для производства веганских продуктов, обеспечивает хороший рост биомассы исследуемого штамма. Кроме того, продемонстрировано, что большинство применяемых в составе классической среды для культивирования молочнокислых бактерий MRS солей не влияют на рост биомассы данного штамма. В связи с этим предлагается более простой состав питательной среды, которая может обеспечить высокое количество жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов.

Цель исследований – разработать технологию получения бактериальной закваски молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на основе ингредиентов растительного происхождения.

Объекты и методы исследования. Объектами экспериментальных исследований служили следующие штаммы молочнокислых бактерий *Latilactobacillus sakei*: LSK-45, LSK-103, LSK-104. Эти штаммы были получены из фонда Национального биоресурсного центра – Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НБЦ ВКПМ) Государственного научно-исследовательского института генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика).

Молочнокислые бактерии культивировали на жидкой среде MRS (De Man, Rogosa, Sharpe) (ООО «НПЦ «Биокомпас-С», г. Углич) и разработанной нами питательной среде на основе рисовой муки при оптимальной температуре, равной 37 °C.

Показателями роста *Latilactobacillus sakei* на питательных средах являлись количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и значение активной кислотности питательной среды. Количественный учет молочнокислых микроорганизмов проводили методом предельных разведений на агаризованной среде MRS (ООО «НПЦ «Биокомпас-С», г. Углич).

При культивировании штаммов также определяли значения активной кислотности питательной среды с использованием pH-метра АНИОН-4100.

Выживаемость штаммов *Latilactobacillus sakei* (%) после замораживания вычисляли после культивирования, отделения биомассы, центрифугирования, внесения защитной среды и замораживания.

Для изучения морфологии клеток молочнокислых бактерий готовили препараты, окрашенные по Граму. Микроскопирование полученных препаратов проводили с использованием микроскопа МИКМЕД-6 (АО «ЛОМО», Россия).

Статистическую обработку результатов исследований выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2019. Исследования проводили в двух повторностях; высчитывали среднее значение, ошибку средней величины. Нулевая гипотеза отклонялась при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение. Для обеспечения хорошего роста микроорганизмов необходима питательная среда оптимального состава, которая содержит различные вещества, такие как аминокислоты, витамины, минералы и т. д. Эффективность производства биомассы бактериальных культур зависит от многих факторов, среди которых можно отметить состав питательной среды, pH, температуру и продолжительность культивирования и т. д. Следует отметить, что для обеспечения экономической эффективности производства бактериальных препаратов для пищевой промышленности большой интерес представляет оптимизация состава питательных сред [18, 19].

Молочная сыворотка широко применяется в качестве основы для питательной среды при производстве различных бактериальных заквасок [19–22]. Она содержит лактозу, которая составляет большую часть (около 70 %) сухого вещества, а также аминокислоты, пептиды, минеральные вещества (натрий, калий, кальций, фосфор и т. д.) и витамины. В то же время сыворотка

представляет собой ценное вторичное сырье, переработка которого является одной из важных задач пищевой промышленности. Вследствие этого использование сыворотки в качестве основы питательной среды для молочнокислых микроорганизмов является актуальным. Однако она может применяться не для всех штаммов молочнокислых бактерий. Например, установлено, что не все штаммы *Latilactobacillus sakei* способны ферментировать лактозу, особенно это касается штаммов, выделенных из мясных продуктов [23, 24]. Так, в [23] было показано, что из шести изученных штаммов бактерий вида *Lb. sakei*, выделенных из традиционных итальянских колбас *Ventricina del Vastese*, только два способны ферментировать лактозу (*Lb. sakei* LS5 и LS6).

Молочнокислые бактерии имеют сложные потребности в питательных веществах. Для роста им необходимы углеводы, аминокислоты, витамины и нуклеотиды [25]. Так, вид *Latilactobacillus sakei* считается одним из наиболее требовательных видов молочнокислых бактерий, поэтому большую значимость представляет разработка питательной среды для культивирования штаммов этого вида.

Наибольшую важность при разработке и совершенствовании технологий бактериальных препаратов для пищевой промышленности представляет оптимизация первых этапов производства. Таким образом, большую роль играет этап накопления биомассы микроорганизмов, который сильно зависит от состава питательной среды.

В связи с увеличением спроса на продукты, произведенные из растительных ингредиентов, большой интерес представляет разработка питательных сред для культивирования микроорганизмов, состоящих из компонентов исключительно растительного происхождения. В состав таких сред обычно входят пептон, дрожжевой экстракт, а также глюкоза [14, 16].

В данном исследовании в качестве основы питательной среды была выбрана рисовая мука. Рис и продукты, полученные из него, применялись исследователями в составе питательных сред для молочнокислых бактерий. Так, работа [26] была посвящена разработке технологии производства бактериальной закваски бифидобактерий (изучено применение штамма *Bifidobacterium longum* DK-100). В состав питательной среды для культивирования этого штамма входит рисовый отвар и ростовые компоненты. Однако этот способ отличается высокой трудоемкостью изготовления рисового отвара.

В [27] авторами было показано, что побочный продукт переработки зерна риса – рисовая мучка – является хорошим субстратом для культивирования молочнокислых бактерий (был изучен рост 11 штаммов *Lactobacillus* и *Pediococcus*).

Состав питательной среды разработанной нами бактериальной закваски представлен в табл. 1. Для приготовления питательной среды предварительно рисовую муку (60 г/дм³) смешивали с водой и доводили до кипения. В состав питательной среды также входил пептон. Для поддержания оптимальной буферной емкости также вводили натриевые и калиевые соли лимонной и уксусной кислоты. Магний хлористый использовали для стабилизации действия ферментов, а в качестве редуцирующего вещества – аскорбиновую кислоту [22]. Источником углерода служила глюкоза. Проведенная в [16] оценка различных источников углерода при культивировании штамма молочнокислых бактерий *Lactobacillus paracasei* IMC502 показала, что глюкоза и саха-роза оказывают положительное влияние на рост бактерий; рост на среде с применением этих

Таблица 1. Состав питательной среды

Table 1. Nutrient medium composition

Компонент	Содержание, г/дм ³
Глюкоза	15
Магний хлористый	0,3
Натрий лимоннокислый трехзамещенный	1
Калий фосфорнокислый двухзамещенный	0,5
Аскорбиновая кислота	0,1
Пептон соевый	10
Отвар на основе рисовой муки	до 1 дм ³

источников был лучше приблизительно на 10 и 25 % по сравнению с мальтозой и галактозой соответственно [16]. В [28] исследователи показали, что все изучаемые ими в работе штаммы *Latilactobacillus sakei* (5 шт.), как правило, достигали самой высокой скорости роста на среде с глюкозой в качестве источника углерода.

Готовую среду стерилизовали при температуре $(121 \pm 1)^\circ\text{C}$, затем охлаждали до температуры $(37 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Для изучения роста штаммов на среде на основе рисовой муки в подготовленную среду вносили инокулят в количестве 5 % от объема. В качестве инокулята использовали культуру молочнокислых бактерий, содержащую изучаемые штаммы *Latilactobacillus sakei* стационарной фазы роста, культивирование которой проводили на полужидкой среде MRS. Характеристика инокулята приведена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика инокулята

Table 2. Characteristics of inoculum

Показатель	Характеристика
Активная кислотность, pH	$4,3 \pm 0,1$
Количество жизнеспособных клеток <i>Latilactobacillus sakei</i> , КОЕ/см ³	$9 \cdot 10^9$
Объем продукта (см ³), в котором не допускаются:	
– БГКП (колиформы);	10
– <i>S. aureus</i> ;	10
– патогенные микроорганизмы (в том числе сальмонеллы)	100
Дрожжи и плесени, КОЕ/см ³ , не более	5 в сумме

Первый этап эксперимента был посвящен изучению роста изучаемых штаммов на среде на основе рисовой муки при оптимальной температуре, равной $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$. С этой целью отслеживали количество жизнеспособных клеток и изменение активной кислотности питательной среды (рис. 1, 2).

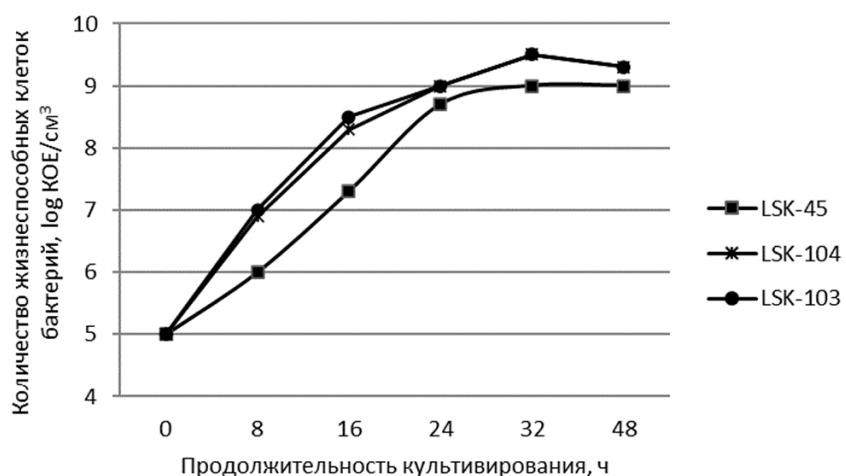


Рис. 1. Изменение количества жизнеспособных клеток в процессе культивирования трех штаммов *Latilactobacillus sakei* на питательной среде на основе рисовой муки

Fig. 1. Viable cells count change during the cultivation of three strains of *Latilactobacillus sakei* on a nutrient medium based on rice flour

Представленные данные (см. рис. 1, 2) показывают, что наибольшее накопление клеток бактерий наблюдается после 24–32 ч культивирования, к 16–24 ч культивирования значение pH стабилизируется ($\approx 4,0$). Таким образом, установлено, что оптимальная продолжительность культивирования составляет 24–32 ч при температуре $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$.

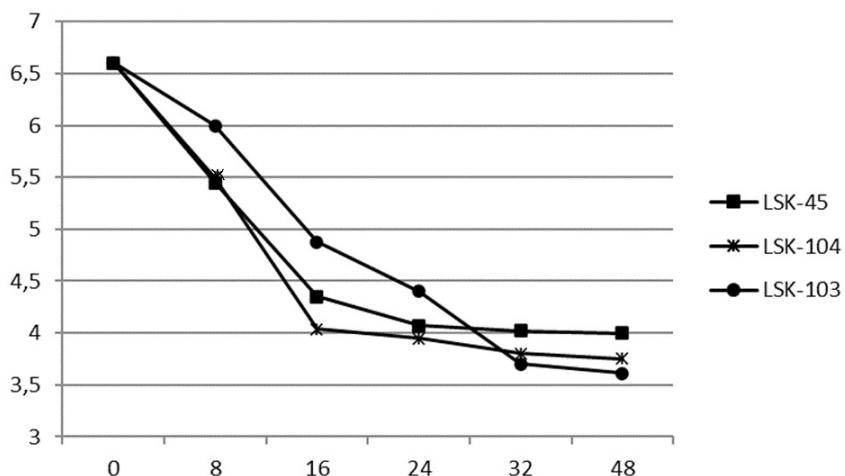


Рис. 2. Изменение pH в процессе культивирования трех штаммов *Latilactobacillus sakei* на среде на основе рисовой муки

Fig. 2. pH change during cultivation of three strains of *Latilactobacillus sakei* on a medium based on rice flour

На основе полученных данных была разработана технологическая схема производства жидкой бактериальной закваски на основе рисовой муки с использованием штаммов *Latilactobacillus sakei*.

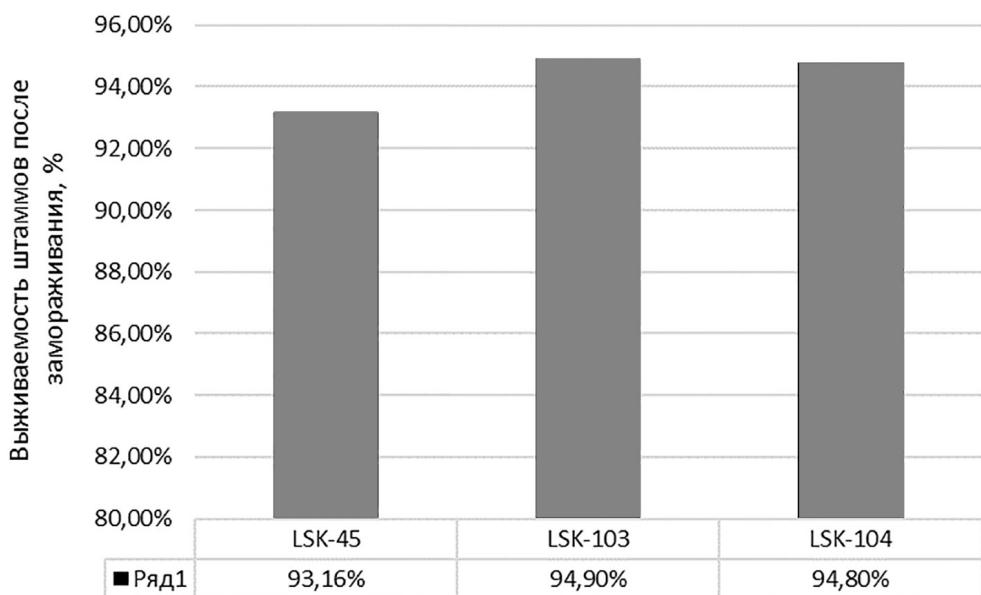
Технологический процесс получения жидкой бактериальной закваски состоял из следующих основных этапов: подготовка инокулята, приготовление питательной среды, внесение инокулята (5 % от объема питательной среды), наращивание биомассы микроорганизмов, отделение культуральной жидкости центрифугированием, упаковка, маркировка, хранение. Эти этапы были аналогичны процессам при производстве других заквасок для пищевой промышленности [22].

Так как сроки годности жидких бактериальных препаратов ограничены, разрабатываются технологии производства замороженных и сухих бактериальных концентратов, высокое количество жизнеспособных клеток пробиотических культур в которых сохраняется значительно дольше по сравнению с жидкими [29]. В связи с этим следующий этап эксперимента был посвящен изучению влияния замораживания на выживаемость штаммов *Latilactobacillus sakei*. Низкие температуры влияют на жизнеспособность клеток молочнокислых бактерий. Одной из причин снижения выживаемости бактерий при замораживании является повреждение мембран клеток кристаллами внутреклеточного льда [30]. Для того чтобы снизить повреждение клеток при замораживании, применяют защитные среды различного состава. Защитная среда должна обладать такими свойствами, как отсутствие токсичности, простота использования, высокие криопротекторные свойства [29]. В данном эксперименте применяли защитную среду следующего состава: сахароза – 10 %; натрий лимоннокислый трехзамещенный – 2 %; дистиллированная вода – остальное. Для производства замороженной закваски *Latilactobacillus sakei* питательную среду центрифугировали, полученную суспензию клеток смешивали с защитной средой, смесь замораживали при температуре -20°C в течение 24 ч. Перед и после замораживания проводили количественный учет жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и рассчитывали их выживаемость (%) (рис. 3).

Установлено, что после замораживания количество клеток бактерий составляет: для штамма *Latilactobacillus sakei* LSK-45 – $7 \cdot 10^8 \text{ KOE}/\text{cm}^3$ (выживаемость клеток – 93,16 %), для штамма *Latilactobacillus sakei* LSK-103 – $2 \cdot 10^9 \text{ KOE}/\text{cm}^3$ (выживаемость клеток – 94,90 %), для штамма *Latilactobacillus sakei* LSK-104 – $3 \cdot 10^9 \text{ KOE}/\text{cm}^3$ (выживаемость клеток – 94,80 %).

Полученные результаты (см. рис. 3) показывают, что процесс замораживания незначительно влияет на выживаемость *Latilactobacillus sakei* LSK-45, LSK-103, LSK-104.

На следующем этапе исследований проводили серию экспериментов для определения показателей качества готовых жидкой и замороженной бактериальных заквасок. Результаты представлены в табл. 3.

Рис. 3. Влияние замораживания на выживаемость штаммов бактерий *Latilactobacillus sakei*Fig. 3. Effect of freezing on the survival of *Latilactobacillus sakei* strainsТаблица 3. Качественная характеристика бактериальной закваски молочнокислых бактерий *Latilactobacillus sakei* на основе рисовой мукиTable 3. Qualitative characteristics of bacterial starter culture of lactic acid bacteria *Latilactobacillus sakei*

Наименование показателя	Значение показателя закваски	
	жидкая	замороженная
Консистенция и внешний вид	Густая суспензия бактериальных клеток	
Цвет	От белого до темно-кремового	
Вкус и запах	Чистый, слегка кисловатый, без посторонних привкусов	
Активная кислотность (pH), ед.	$6,5 \pm 0,5$	
Температура при выпуске с предприятия, °C, не более	4 ± 2 °C	-18 °C
Количество бактерий, КОЕ в 1 см ³ , не менее	$1 \cdot 10^8$	
Микрокартина	Грамположительные палочки, расположенные одиночно, попарно или короткими цепочками	
Объем продукта (см ³), в котором не допускаются:		
– БГКП (колиформы);	10	
– стафилококки <i>S. aureus</i>	10	
– патогенные микроорганизмы (в т. ч. сальмонеллы)	100	
Дрожжи и плесени, КОЕ/см ³ , не более	5 в сумме	

В результате анализа полученных данных (см. табл. 3) установлено, что разработанные нами технологии получения жидкой и замороженной заквасок на основе рисовой муки позволяют получить продукты с высоким количеством жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов (более $1 \cdot 10^8$ КОЕ/см³). По показателям безопасности разработанные закваски соответствуют требованиям действующих нормативных документов (ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»).

Следующий этап исследований был посвящен изучению морфологии клеток полученной закваски (рис. 4).

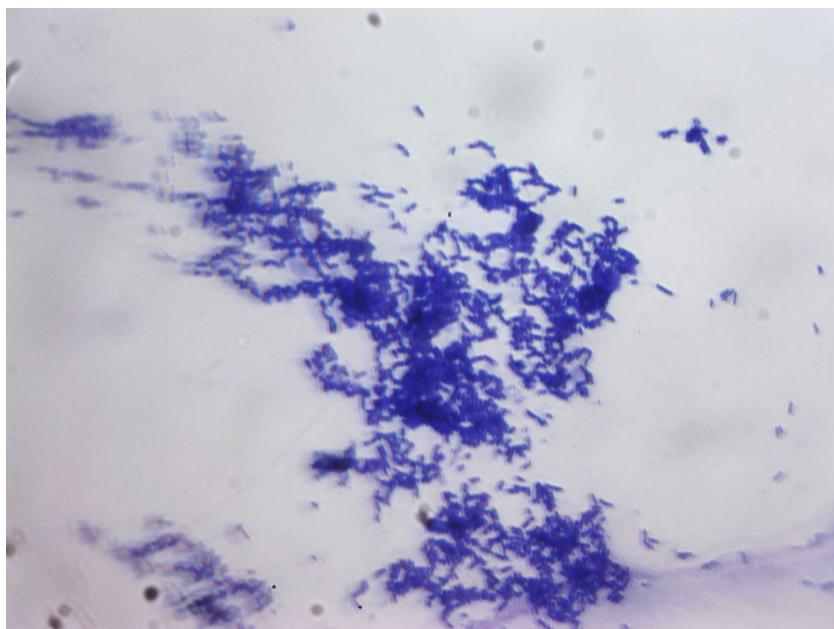


Рис. 4. Морфология клеток замороженной закваски на основе растительных компонентов (штамм *Lactilactobacillus sakei* LSK-45)

Fig. 4. Cell Morphology of bacterial starter culture (strain *Lactilactobacillus sakei* LSK-45)

На рис. 4 видны скопления клеток, которые указывают на межклеточные связи – когезию. Как отмечено в [31], микроорганизмы способны проявлять различные формы коллективного поведения, к которым можно отнести афилиацию (когезию), кооперацию, координированную агрессию и избегание. Для бактериальных систем характерна контактная и дистантная коммуникация. При дистантной коммуникации используются сигнальные вещества, например аутоиндуktörоров. Бактерии способны к формированию надклеточных систем, которые можно рассматривать как бактериальные биосоциальные системы [31].

Когезия является механизмом, с помощью которого в неблагоприятных условиях окружающей среды достигается более высокая выживаемость клеток. Это обусловлено тем, что агрегированные клетки имеют преимущество перед одиночными при высокой плотности популяции, так как клетки, находящиеся в верхней части агрегата, получают больший доступ к питательным веществам. При низкой плотности клеток, наоборот, одиночные клетки обладают преимуществом перед агрегатами клеток [32]. Доказано, что агрегация повышает выживаемость клеток при росте в неблагоприятной среде [33].

Таким образом, когезия клеток молочнокислых бактерий *Lactilactobacillus sakei*, по всей видимости, является реакцией на отрицательные факторы внешней среды и обеспечивает адаптацию к изменению условий и лучшую выживаемость клеток.

Выводы. В результате проведенных исследований разработаны новые технологии производства жидкой и замороженной бактериальных заквасок из растительных ингредиентов, содержащие штаммы *Lactilactobacillus sakei*, которые могут использоваться при производстве пищевых продуктов. Представленные результаты показывают, что разработанные закваски обладают высокой биохимической активностью и по показателям безопасности соответствуют требованиям, предъявляемым к закваскам.

Список использованных источников

1. Benefaction of probiotics for human health: a review / R. G. Kerry, J. K. Patra, S. Gouda [et al.] // Journal of Food and Drug Analysis. – 2018. – Vol. 26, № 3. – P. 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
2. Bodke, H. Role of probiotics in human health / H. Bodke, S. Jogdand // Cureus. – 2022. – Vol. 14, № 11. – Art. e31313. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>

3. Probiotic *Escherichia coli* Nissle 1917-derived outer membrane vesicles modulate the intestinal microbiome and host gut-liver metabolome in obese and diabetic mice / J. Shi, D. Ma, S. Gao [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1219763. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1219763>
4. Probiotic properties of enterococcus isolated from artisanal dairy products / Y. Nami, R. Vaseghi Bakhshayesh, H. Mohammadzadeh Jalaly [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2019. – Vol. 10. – Art. 300. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00300>
5. Unique properties of yeast probiotic *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745: a narrative review / S. Gopalan, S. Ganapathy, M. Mitra [et al.] // Cureus. – 2023. – Vol. 15, № 10. – Art. e46314. <https://doi.org/10.7759/cureus.46314>
6. Staniszewski, A. Probiotic and potentially probiotic yeasts-characteristics and food application / A. Staniszewski, M. Kordowska-Wiater // Foods. – 2021. – Vol. 10, № 6. – Art. 1306. <https://doi.org/10.3390/foods10061306>
7. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications / R. D. Ayivi, R. Gyawali, A. Krastanov [et al.] // Dairy. – 2020. – Vol. 1, № 3. – P. 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
8. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures / G. R. Rama, D. Kuhn, S. Beux [et al.] // International Dairy Journal. – 2019. – Vol. 98. – P. 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
9. Probiotic and technological characterization of selected *Lactobacillus* strains isolated from different egyptian cheeses / M. Zommara, S. El-Ghaish, T. Haertle [et al.] // BMC Microbiology. – 2023. – Vol. 23, № 1. – Art. 160. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02890-1>
10. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea / E. J. Song, E. S. Lee, S. L. Park [et al.] // Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. – 2018. – Vol. 82, № 8. – P. 1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
11. Fermented and ripened fish products in the northern European countries / T. Skåra, L. Axelsson, G. Stefansson [et al.] // Journal of Ethnic Foods. – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
12. Zagorec, M. *Lactobacillus sakei*: a starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products / M. Zagorec, M.-C. Champomier-Vergès // Microorganisms. – 2017. – Vol. 5, № 3. – Art. 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
13. Никифорова, А. П. Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу / А. П. Никифорова, С. Н. Хазагаева, И. С. Хамагаева // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 3. – С. 574–583. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>
14. Growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in vegetarian food products / C. N. Heenan, M. C. Adams, R. W. Hosken, G. H. Fleet // LWT – Food Science and Technology. – 2002. – Vol. 35, № 2. – P. 171–176. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0833>
15. Pathak, M. Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products / M. Pathak, D. Martirosyan // Functional Foods in Health and Disease. – 2012. – Vol. 2, № 10. – P. 369–378. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v2i10.75>
16. Vegan grade medium component screening and concentration optimization for the fermentation of the probiotic strain *Lactobacillus paracasei* IMC 502® using Design of Experiments / D. Parecha, A. Alfano, D. Cimini, C. Schiraldi // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. – 2024. – Vol. 51. – Art. kuae016. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuae016>
17. Plant-based culture media: efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ diversity / H. H. Youssef, M. A. Hamza, M. Fayez [et al.] // Journal of Advanced Research. – 2016. – Vol. 7, № 2. – P. 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.07.005>
18. Low-cost effective culture medium optimization for d-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens* under oxygen-deprived condition / L. Jaramillo, D. Santos, E. Borges [et al.] // Annals of Microbiology. – 2018. – Vol. 68, № 9. – P. 547–555. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1362-y>
19. Probiotics media: significance, challenges, and future perspective – a mini review / V. Kumar, B. Naik, A. Kumar [et al.] // Food Production, Processing and Nutrition. – 2022. – Vol. 4. – Art. 17. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00098-w>
20. Мамыкин, Д. С. Оптимизация состава питательной среды для производства заквасочных культур *Lactobacillus plantarum*/Д. С. Мамыкин // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 3S. – Р. 193–198. <https://doi.org/10.21323/26189771-2021-4-3S-193-198>
21. Batch and fed-batch production of probiotic biomass and nisin in nutrient-supplemented whey media / M. C. Malvido, E. A. González, D. L. Bazán Tantaleán [et al.] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2019. – Vol. 50, № 4. – P. 915–925. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00114-1>
22. Хамагаева, И. С. Биотехнология заквасок пропионовокислых бактерий / И. С. Хамагаева, Л. М. Качанина, С. М. Тумурова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 171 с.
23. Features of *Lactobacillus sakei* isolated from Italian sausages: focus on strains from *Ventricina del Vastese* / C. Amadoro, F. Rossi, M. Piccirilli, G. Colavita // Italian Journal of Food Safety. – 2015. – Vol. 4, № 4. – Art. 5449. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2015.5449>
24. Lactose metabolism in *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sake* / M. Obst, R. Hehn, R. F. Vogel, W. P. Hammes // FEMS Microbiology Letters. – 1992. – Vol. 97, № 3. – P. 209–214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05465.x>
25. Short communication: nutrient consumption patterns of *Lactobacillus acidophilus* KLDS 1.0738 in controlled pH batch fermentations / X. Lv, G. Liu, X. Sun [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 100, № 7. – P. 5188–5194. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12607>

26. Хамагаева, И. С. Оптимизация питательной среды для получения гипоаллергенного биопрепарата / И. С. Хамагаева, С. Н. Хазагаева, И. П. Марадудина // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – № 3 (66). – С. 93–96.
27. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products / R. Jukonyte, D. Zadeike, E. Bartkiene [et al.] // LWT. – 2018. – Vol. 9. – P. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.012>
28. Impact of different sugars and glycosyltransferases on the assertiveness of *Latilactobacillus sakei* in raw sausage fermentations / A. W. Widenmann, C. J. Schiffer, M. A. Ehrmann, R. F. Vogel // International Journal of Food Microbiology. – 2022. – Vol. 366. – Art. 109575. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109575>
29. Effects of freeze drying in complex lyoprotectants on the survival, and membrane fatty acid composition of *Lactobacillus plantarum* L1 and *Lactobacillus fermentum* L2 / Z. Cheng, X. Yan, J. Wu [et al.] // Cryobiology. – 2022. – Vol. 105. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.01.003>
30. Development of freeze-thaw tolerant *Lactobacillus rhamnosus* GG by adaptive laboratory evolution / Y. W. Kwon, J. H. Bae, S. A. Kim, N. S. Han // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9. – Art. 2781. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02781>
31. Олескин, А. В. Биосоциальность одноклеточных (на материале исследований прокариот) / А. В. Олескин // Журнал общей биологии. – 2009. – Т. 70, № 3. – 225–238.
32. Trunk, T. Bacterial autoaggregation / T. Trunk, H. S. Khalil, J. C. Leo // AIMS Microbiology. – 2018. – Vol. 4, № 1. – P. 140–164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>
33. Evaluation of functional properties of some lactic acid bacteria strains for probiotic applications in apiculture / A. C. Urcan, A. D. Criste, O. Bobiș [et al.] // Microorganisms. – 2024. – Vol. 12, № 6. – Art. 1249. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061249>

References

1. Kerry R. G., Patra J. K., Gouda S., Park Y., Shin H.-S., Das G. Benefaction of probiotics for human health: a review. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
2. Bodke H., Jogdand S. Role of probiotics in human health. *Cureus*, 2022, vol. 14, no. 11, art. e31313. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>
3. Shi J., Ma D., Gao S., Long F., Wang X., Pu X., Cannon R. D., Han T. L. Probiotic *Escherichia coli* Nissle 1917-derived outer membrane vesicles modulate the intestinal microbiome and host gut-liver metabolome in obese and diabetic mice. *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14, art. 1219763. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1219763>
4. Nami Y., Vaseghi Bakhtayesh R., Mohammadzadeh Jalaly H., Lotfi H., Eslami S., Hejazi M. A. Probiotic properties of enterococcus isolated from artisanal dairy products. *Frontiers in Microbiology*, 2019, vol. 10, art. 300. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00300>
5. Gopalan S., Ganapathy S., Mitra M., Neha, Kumar Joshi D., Veligandla K. C., Rathod R., Kotak B. P. Unique properties of yeast probiotic *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745: a narrative review. *Cureus*, 2023, vol. 15, no. 10, art. e46314. <https://doi.org/10.7759/cureus.46314>
6. Staniszewski A., Kordowska-Wiater M. Probiotic and potentially probiotic yeasts-characteristics and food application. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 6, art. 1306. <https://doi.org/10.3390/foods10061306>
7. Ayivi R. D., Gyawali R., Krastanov A., Aljaloud S. O., Worku M., Tahergorabi R., Da Silva R. C., Ibrahim S. A. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications. *Dairy*, 2020, vol. 1, no. 3, pp. 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
8. Rama G. R., Kuhn D., Beux S., Jachetti Maciel M., Volken de Souza C. F. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. *International Dairy Journal*, 2019, vol. 98, pp. 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
9. Zommara M., El-Ghaish S., Haertle T., Chobert J.-M., Ghanimah M. Probiotic and technological characterization of selected *Lactobacillus* strains isolated from different Egyptian cheeses. *BMC Microbiology*, 2023, vol. 23, art. 160. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02890-1>
10. Song E. J., Lee E. S., Park S. L., Choi H. J., Roh S. W., Nam Y. D. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2018, vol. 82, no. 8, pp. 1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
11. Skåra T., Axelsson L., Stefansson G., Ekstrand B., Hagen H. Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *Journal of Ethnic Foods*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
12. Zagorec M., Champomier-Vergès M.-C. *Lactobacillus sakei*: a starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. *Microorganisms*, 2017, vol. 5, no. 3, art. 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
13. Nikiforova A. P., Khazagaeva S. N., Khamagaeva I. S. Tolerance of *Lactobacillus sakei* to osmotic stress. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 574–583 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>

14. Heenan C. N., Adams M. C., Hosken R. W., Fleet G. H. Growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in vegetarian food products. *LWT – Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, no. 2, pp. 171–176. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0833>
15. Pathak M., Martirosyan D. Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products. *Functional Foods in Health and Disease*, 2012, vol. 2, no. 10, pp. 369–378. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v2i10.75>
16. Parecha D., Alfano A., Cimini D., Schiraldi C. Vegan grade medium component screening and concentration optimization for the fermentation of the probiotic strain *Lactobacillus paracasei* IMC 502® using Design of Experiments. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2024, vol. 51, art. kuae016. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuae016>
17. Youssef H. H., Hamza M. A., Fayez M., Mourad E. F., Saleh M. Y., Sarhan M. S., Suker R. M., Eltahlawy A. A., Nemr R. A., El-Tahan M., Ruppel S., Hegazi N. A. Plant-based culture media: efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ diversity. *Journal of Advanced Research*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.07.005>
18. Jaramillo L., Santos D., Borges E., Dias D., Pereira N. Low-cost effective culture medium optimization for d-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens* under oxygen-deprived condition. *Annals of Microbiology*, 2018, vol. 68, no. 9, pp. 547–555. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1362-y>
19. Kumar V., Naik B., Kumar A., Khanduri N., Rustagi S., Kumar S. Probiotics media: significance, challenges, and future perspective – a mini review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2022, vol. 4, art. 17. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00098-w>
20. Mamykin D. S. Optimization of the composition of the nutrient medium for production of starter cultures *Lactobacillus plantarum*. *Pishchevye sistemy = Food Systems*, 2021, vol. 4, no. 3S, pp. 193–198 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/26189771-2021-4-3S-193-198>
21. Malvido M. C., González E. A., Bazán Tantaleán D. L., Bendaña Jácome R. J., Pérez Guerra N. Batch and fed-batch production of probiotic biomass and nisin in nutrient-supplemented whey media. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 915–925. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00114-1>
22. Khamagaeva I. S., Kachanina L. M., Tumurova S. M. *Biotechnology of propionic acid bacteria starter cultures*. Ulan-Ude, East Siberian State Technological University, 2006. 171 p. (in Russian).
23. Amadoro C., Rossi F., Piccirilli M., Colavita G. Features of *Lactobacillus sakei* isolated from Italian sausages: focus on strains from *Ventricina del Vastese*. *Italian Journal of Food Safety*, 2015, vol. 4, no. 4, art. 5449. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2015.5449>
24. Obst M., Hehn R., Vogel R. F., Hammes W. P. Lactose metabolism in *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sakei*. *FEMS Microbiology Letters*, 1992, vol. 97, no. 3, pp. 209–214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05465.x>
25. Lv X., Liu G., Sun X., Chen H., Sun J., Feng Z. Short communication: Nutrient consumption patterns of *Lactobacillus acidophilus* KLDS 1.0738 in controlled pH batch fermentations. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, no. 7, pp. 5188–5194. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12607>
26. Khamagaeva I. S., Khazagaeva S. N., Maradudina I. P. Optimization of nutrient medium for obtaining hypoallergenic bio-product. *Vestnik VSGUTU = ESSUTM Bulletin*, 2017, no. 3 (66), pp. 93–96 (in Russian).
27. Jukonyte R., Zadeike D., Bartkiene E., Lele V., Cernauskas D., Suproniene S., Juodeikiene G. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products. *LWT*, 2018, vol. 9, pp. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.012>
28. Widenmann A. W., Schiffer C. J., Ehrmann M. A., Vogel R. F. Impact of different sugars and glycosyltransferases on the assertiveness of *Latilactobacillus sakei* in raw sausage fermentations. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, vol. 366, art. 109575. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109575>
29. Cheng Z., Yan X., Wu J., Weng P., Wu Z. Effects of freeze drying in complex lyoprotectants on the survival, and membrane fatty acid composition of *Lactobacillus plantarum* L1 and *Lactobacillus fermentum* L2. *Cryobiology*, 2022, vol. 105, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.01.003>
30. Kwon Y. W., Bae J. H., Kim S. A., Han N. S. Development of freeze-thaw tolerant *Lactobacillus rhamnosus* GG by adaptive laboratory evolution. *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9, art. 2781. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02781>
31. Oleskin A. V. Biosocial phenomena in unicellular organisms (exemplified by data concerning Prokaryota). *Zhurnal obshchey biologii = Journal of General Biology*, 2009, vol. 70, no. 3, pp. 225–238 (in Russian).
32. Trunk T., Khalil H.S., Leo J. C. Bacterial autoaggregation. *AIMS Microbiology*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 140–164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>
33. Urcan A. C., Criste A. D., Bobiš O., Cornea-Cipcigan M., Giurgiu A.-I., Dezmirean D. S. Evaluation of functional properties of some lactic acid bacteria strains for probiotic applications in apiculture. *Microorganisms*, 2024, vol. 12, no. 6, art. 1249. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061249>

Информация об авторах

Никифорова Анна Платоновна – кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО (Университет ИТМО) (пр. Кронверкский, 49, литер А, 197101, Санкт-Петербург). <https://orcid.org/0000-0002-3003-8638>. E-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

Позняковский Валерий Михайлович – доктор биологических наук, профессор, Кемеровский государственный медицинский университет (ул. Ворошилова, 22а, 650056, Кемерово, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-5749-1459>. E-mail: pvm1947@bk.ru

Information about the authors

Anna P. Nikiforova – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Biotechnologies, ITMO University (49, bldg. A, Kronverksky Ave., 197101, St. Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-3003-8638>. E-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

Valery M. Poznyakovsky – Dr. Sc. (Biology), Professor, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova St., 650056, Kemerovo, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5749-1459>. E-mail: pvm1947@bk.ru