

# ВЕСЦІ

## НАЦЫЯНАЛЬнай АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

---

СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАВУК. 2021. Т. 59, № 2

---

# ІЗВЕСТИЯ

## НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

---

СЕРИЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2021. Т. 59, № 2

---

Журнал основан в 1963 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

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

**Главный редактор:**

**Владимир Григорьевич Гусаков,**  
Президиум Национальной академии наук Беларуси (Минск, Беларусь)

**Редакционная коллегия:**

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

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

**Т. С. Фашук** – Издательский дом «Белорусская наука» (Минск, Беларусь)  
(ведущий редактор)

**З. В. Василенко** – Могилевский государственный университет продовольствия (Могилев, Беларусь)  
**Г. И. Гануш** – Белорусский государственный аграрный технический университет (Минск, Беларусь)

**С. А. Касьянчик** – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Беларусь)

**З. А. Козловская** – Институт плодородия, Национальная академия наук Беларуси (аг. Самохваловичи, Беларусь)

**С. В. Косьяненко** – Опытная научная станция по птицеводству Научно-практического центра Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству (Заславль, Беларусь)

**В. В. Лапа** – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (Минск, Беларусь)

**А. П. Лихацевич** – Институт мелиорации, Национальная академия наук Беларуси (Минск, Беларусь)

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

**В. Л. Маханько** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству  
и плодоовощеводству (аг. Самохваловичи, Беларусь)

**А. В. Мелешеня** – Институт мясо-молочной промышленности Научно-практического центра  
Национальной академии наук Беларуси (Минск, Беларусь)

**В. К. Пестис** – Гродненский государственный аграрный университет (Гродно, Беларусь)  
**Н. А. Попков** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (Жодино, Беларусь)  
**Ф. И. Привалов** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (Жодино, Беларусь)  
**С. Г. Яковчик** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства (Минск, Беларусь)

**Редакционный совет:**

**И. М. Богдевич** – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (Беларусь)  
**Ф. И. Василевич** – Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина (Россия)  
**Д. Врона** – Варшавский университет сельского хозяйства (Польша)  
**Г. В. Гавардашвили** – Институт водного хозяйства им. Ц. Е. Мирцхулава Грузинского технического университета (Грузия)  
**В. И. Долженко** – Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (Россия)  
**В. М. Косолапов** – Всероссийский научно-практический институт кормов им. В. Р. Вильямса Российской академии наук (Россия)  
**В. И. Кравчук** – Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытания техники и технологий для сельскохозяйственного производства им. Л. Погорелого (Украина)  
**Ю. Ф. Лачуга** – Отделение сельскохозяйственных наук Российской академии наук (Россия)  
**А. Б. Лисицын** – Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности (Россия)  
**А. Б. Молдашев** – Казахский научно-исследовательский институт экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий (Казахстан)  
**А. Т. Мысик** – Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства им. Л. К. Эрнста (Россия)  
**Б. А. Ривжа** – Академия сельскохозяйственных и лесных наук Латвии (Латвия)  
**В. Романюк** – Институт технологических и естественных наук в Фалентах, Варшава (Польша)  
**Ф. И. Рыбалко** – Украинский научно-исследовательский институт свиноводства (Украина)  
**П. Т. Саблук** – Институт аграрной экономики Национальной академии наук Украины (Украина)  
**Е. Н. Седов** – Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (Россия)  
**В. Станис** – Литовский научно-исследовательский центр по сельскому хозяйству и лесному хозяйству Института растениеводства (Литва)  
**Н. И. Стрекозов** – Всероссийский институт животноводства (Россия)  
**У Син Хун** – Академия сельскохозяйственных наук и технологий провинции Цзилинь (Китай)  
**И. Г. Ушачев** – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства (Россия)  
**И. П. Шейко** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (Беларусь)

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

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

---

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.

Серия аграрных наук. 2021. Т. 59, № 2

*Выходит на русском, белорусском и английском языках*

---

Редактор *Т. С. Фацук*  
Компьютерная верстка *А. В. Новик*

Подписано в печать 21.04.2021. Выход в свет 28.04.2021. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 68 экз. Заказ 83.  
Цена номера: индивидуальная подписка – 12,38 руб., ведомственная подписка – 29,38 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, 220141, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука»,  
Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серія аграрных навук, 2021

# PROCEEDINGS

## OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

---

AGRARIAN SERIES. 2021, vol. 59, no. 2

---

The Journal was founded in 1963

Issued four times a year

Founder is the National Academy of Sciences of Belarus

The journal is 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

### Editor-in-Chief:

**Vladimir G. Gusakov** – the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

### Editorial Board:

**P. P. Kazakevich** – the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

*(Associate Editor-in-Chief),*

**V. V. Azarenko** – Department of Agrarian Sciences the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

*(Associate Editor-in-Chief),*

**T. S. Fashchuk** – Publishing House “Belarusian Science” (Minsk, Belarus)

*(Managing Editor)*

**Z. V. Vasilenko** – Mogilev State University of Food Technologies (Mogilev, Belarus)

**G. I. Ganush** – Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus)

**S. A. Kas'yanchik** – Department for Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

**Z. A. Kozlovskaya** – the Institute for Fruit Growing, the National Academy of Sciences of Belarus

**S. V. Kos'yanenko** – Experimental Research Station of Poultry Breeding (Zaslavl, Belarus)

**V. V. Lapa** – Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

**A. P. Likhatchevich** – Institute for Land Reclamation, the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)

**Z. V. Lovkis** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (Minsk, Belarus)

**V. L. Makhanko** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing (Samokhvalovich Agrotown, Belarus)

**A. V. Meleshchenya** – Institute for Meat and Dairy Industry (Minsk, Belarus)

**V. K. Pestis** – Grodno State Agrarian University (Grodno, Belarus)

**N. A. Popkov** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (Zhodino, Belarus)

**F. I. Privalov** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (Zhodino, Belarus)

**S. G. Yakovchik** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Mechanization of Agriculture (Minsk, Belarus)

### Editorial Council:

**I. M. Bogdevich** – Institute for Soil Science and Agrochemistry (Belarus),

**F. I. Vasilevich** – Moscow State Academy for Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin (Russian),

**G. Gavardachvili** – Institute for Water Resources named after Ts. E. Mirtskhulava of the Georgia Technical University (Georgia),

**D. Wrona** – Warsaw Agricultural University (Poland),

**V.I. Dolzhenko** – All-Russian Research Institute of Plant Protection (Russian),  
**V.M. Kosolapov** – All-Russian Research and Practical Institute for Forages named after V.R. Williams of the RAS (Russian),  
**V.I. Kravchuk** – Ukrainian Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production named after Leonid Pogorilyy (Ukraine),  
**Yu. F. Lachuga** – Department for Agrarian Sciences of the RAS (Russian),  
**A.B. Lisitsyn** – All-Russian Research and Practical Institute for Meat Industry (Russian),  
**A.B. Moldashev** – Kazakhstan Research and Development Institute for Economics in Agroindustrial Complex and Rural Territories Development (Kazakhstan),  
**A.T. Mysik** – All-Russia Research Institute for Animal Husbandry named after L.K. Ernst (Russian),  
**B.A. Rivzha** – Academy for Agricultural and Forest Sciences of Latvia (Latvia),  
**V. Romanyuk** – Agricultural Academy in Stettin (Poland),  
**V.P. Rybalko** – Ukrainian Research Institute for Pig Breeding (Ukraine),  
**P.T. Sabluk** – Institute for Agrarian Economics of the NAAS of Ukraine (Ukraine),  
**E.N. Sedov** – All-Russian Research Institute for Fruit Crop Selection (Russian),  
**V. Stanis** – Lithuanian research Center for Agriculture and Forestry of Crop Research Institute (Lithuania),  
**N.I. Strekozov** – All-Russian Institute for Animal Husbandry (Russian),  
**Wu Xing-Hong** – Academy for Agricultural Sciences and Technologies of Jilin Province (China),  
**I.G. Ushachev** – All-Russian Research Institute for Economics in Agriculture (Russian),  
**I.P. Shejko** – Scientific and Practical Center the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (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., Minsk 220072, Republic of Belarus.  
 Tel.: + 375-17-374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru.  
 Website: vestiagr.belnauka.by*

---

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.

Agrarian series. 2021, vol. 59, no. 2

*Printed in Russian, Belarusian and English languages*

---

Editor *T.S. Fashchuk*  
 Computer imposition *A.V. Novik*

It is sent of the press 21.04.2021. Appearance 28.04.2021. Format 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Offset paper. The press digital.

Printed pages 14,88. Publisher's signatures 16,4. Circulation 68 copies. Order 83.

Number price: individual subscription – 12,38 byn., departmental subscription – 29,38 byn.

Publisher and printing execution:

Republican unitary enterprise "Publishing House "Belaruskaya Navuka"

Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printing editions No. 1/18 dated August 2, 2013. License for the press No. 02330/455 dated December 30, 2013. Address: 40, F. Scorina Str., Minsk, 220141, Republic of Belarus.

© RUE "Publishing House "Belaruskaya Navuka",  
 Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series, 2021

## ЗМЕСТ

### ЭКАНОМІКА

<b>Пилипук А. В., Гусаков Г. В., Расторгуев П. В., Кондратенко С. А., Карпович Н. В., Почтовая И. Г., Лобанова Л. А.</b> Принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь .....	135
<b>Семенов С. Р., Семенов Н. С.</b> Формирование экономических и информационных отношений в сельскохозяйственном секторе Кыргызской Республики .....	151
<b>Пашкевич О. А.</b> Концептуальные направления эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в сельском хозяйстве .....	160

### ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНаВОДСТВА

<b>Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С., Фатыхов И. Ш.</b> Влияние погодных условий и способа посева на семенную продуктивность клевера лугового в Среднем Предуралье .....	178
<b>Мыслыва Т. Н., Шелюто Б. В., Надточий П. П., Куцаева О. А.</b> Использование данных дистанционного зондирования, полученных с БПЛА, для оценки продуктивности биомассы <i>Silphium perfoliatum</i> .....	186
<b>Вус Н. А., Василенко А. А., Кобызева Л. Н., Безуглая О. Н., Анциферова О. В., Силенко С. И.</b> Содержание масла в семенах нута Национальной коллекции Украины (на англ. яз.) .....	198

### ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

<b>Тулинов А. Г., Лобанов А. Ю.</b> Обоснование основных конструктивно-технологических параметров технологии заготовки сенажа из ежи сборной ( <i>Dactylis glomerata</i> L.) с использованием газового консерванта .....	205
<b>Стародуб Л. Ф.</b> Особенности кариотипа украинской аборигенной гуцульской породы лошадей (на англ. яз.) .....	215
<b>Синяков М. П.</b> Ассоциативные паразитозы желудочно-кишечного тракта лошадей и оценка эффективности противопаразитарных препаратов .....	220

### МЕХАЊЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

<b>Азаренко В. В., Комлач Д. И., Голдыбан В. В., Барановский И. А., Прокопович Г. А.</b> Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме .....	232
---	-----

### ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫИ

<b>Васькина В. А., Кандроков Р. Х., Хайдар-Заде Л. Н.</b> Исследование влияния амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников .....	243
--	-----

### ВУЧОНЫЯ БЕЛАРУСІ

<b>Игорь Станиславович Нагорский</b> (К 90-летию со дня рождения) .....	255
---	-----

## **CONTENTS**

### **ECONOMICS**

<b>Pilipuk A. V., Rastorguev P. V., Gusakov G. V., Kondratenko S. A., Karpovich N. V., Pochtovaya I. G., Lobanova L. A.</b> Conceptual directions for improving the mechanism for ensuring food security of the republic of Belarus .....	135
<b>Semenov S. R., Semenov N. S.</b> Formation of economic and information relations in the agricultural sector of the Kyrgyz Republic .....	151
<b>Pashkevich V. A.</b> Conceptual directions of effective management of labour resources employment in agriculture .....	160

### **AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION**

<b>Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Fatykhov I. Sh.</b> Impact of weather conditions and sowing method on seed performance of meadow clover in the Middle Urals .....	178
<b>Myslyva T. N., Sheliuta B. V., Nadtochyj P. P., Kutsaeva A. A.</b> Use of remote sensing data obtained from UAVs to assess the biomass productivity of <i>Silphium perfoliatum</i> .....	186
<b>Vus N. A., Vasylenko A. A., Kobzyeva L. K., Besuhla O. N., Antziferova O. V., Sylenko S. I.</b> Oil content in chickpea seeds of the National collection of Ukraine .....	198

### **ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE**

<b>Tulinov A. G., Lobanov A. Y.</b> Substantiation of the basic constructive-and-technological parameters of technology for preparing haylage of the cocksfoot ( <i>Dactylis glomerata</i> L.) using gas preservative .....	205
<b>Starodub L. F.</b> Peculiarities of karyotype of the Ukrainian aboriginal Hutsul breed of horse .....	215
<b>Sinyakov M. P.</b> Associative parasitoses of the gastrointestinal tract of horses and assessment of anti-parasitic drugs efficiency .....	220

### **MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING**

<b>Azarenko V. V., Komlach D. I., Goldyban V. V., Baranovsky I. A., Prokopovich G. A.</b> Development of mounted system for controlling row crop cultivator in automatic mode .....	232
---	-----

### **PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

<b>Vaskina V. A., Kandrov R. Kh., Haydar-Zade L. N.</b> Study of impact of amaranth flour and wall material of enclosed nut oil on quality of raw gummy gingerbread .....	243
---	-----

### **SCIENTISTS OF BELARUS**

<b>Igor Stanislavovich Nagorsky</b> (To the 90 <sup>th</sup> Anniversary of Birthday) .....	253
---	-----

**ЭКАНОМІКА**  
**ECONOMICS**

УДК 338.439.053(476)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-135-150>

Поступила в редакцию 17.02.2021  
Received 17.02.2021

**А. В. Пилипук, Г. В. Гусаков, П. В. Расторгуев, С. А. Кондратенко,  
Н. В. Карпович, И. Г. Почтовая, Л. А. Лобанова**

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

**ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЗМА  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Аннотация:** Обеспечение продовольственной безопасности во многом определяет устойчивость всей экономической системы в целом. Республика Беларусь преодолела дефицит и обеспечила продовольственную безопасность, а также сформировала значительный экспортный потенциал в агропродовольственном секторе экономики. В этой связи особый интерес представляют сторонние взгляды на белорусскую модель обеспечения продовольственной безопасности. Существует объективная необходимость обеспечения неоспоримых конкурентных преимуществ отечественных продуктов питания по критериям безопасности качества, расширения сбытового потенциала белорусской продукции на внутреннем и внешних рынках, эффективной интеграции национального АПК в мировое рыночное пространство. В статье представлены принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь. Выявлены тенденции физической и экономической доступности продовольствия на внутреннем рынке, отдельные деструктивные факторы и потенциальные угрозы. Обоснована целесообразность разработки Комплексного национального плана по реализации положений Доктрины и принципы его формирования, среди которых: согласованность с моделью обеспечения национальной продовольственной безопасности и независимости; соответствие критериям устойчивого развития социально-экономической системы агропродовольственного комплекса; инклюзивность и ответственность заинтересованных сторон; оперативный и стратегический мониторинг эффективности мер и др. Предложены основные блоки мероприятий, которые охватывают создание эффективной системы мониторинга и управления; обеспечение качества и безопасности продовольствия на внутреннем рынке; пропаганду и внедрение принципов здорового питания среди населения; регулирование сбалансированности внутреннего рынка; повышение устойчивости и конкурентоспособности отечественного агропродовольственного комплекса; создание благоприятной конкурентной среды; развитие научно-инновационного и инвестиционного потенциала. Разработка позволит повысить эффективность Доктрины национальной продовольственной безопасности как документа стратегического планирования, а также обосновать и внедрить необходимые механизмы решения поставленных задач. **Благодарности.** Работа выполнена в ходе выполнения ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмма «Экономика АПК» на 2021–2025 гг.

**Ключевые слова:** продовольственная безопасность и независимость, агропродовольственный комплекс, мониторинг, управление, доктрина, план мероприятий по обеспечению, конкурентоспособность, устойчивость, производственно-экономический потенциал, эффективность, импортозамещение

**Для цитирования:** Принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь / А. В. Пилипук, Г. В. Гусаков, П. В. Расторгуев, С. А. Кондратенко, Н. В. Карпович, И. Г. Почтовая, Л. А. Лобанова // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, №2. – С. 135–150. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-135-150>

**Andrey V. Pilipuk, Gordei V. Gusakov, Petr V. Rastorgouev, Svetlana A. Kondratenko,  
Natallya V. Karpovich, Irina G. Pochtovaya, Ludmila A. Lobanova**

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

**PRINCIPAL DIRECTIONS FOR IMPROVEMENT FOOD SECURITY MECHANISM  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

**Abstract:** Food security largely determines stability of the entire economic system. The Republic of Belarus overcame the deficiency and ensured food security, as well as formed a significant export potential in the agri-food sector of the economy. In this regard, outside views on the Belarusian model of ensuring food security are of particular interest. There is an objective need to



ensure undeniable competitive advantages of domestic food products in terms of quality safety, expanding the marketing potential of Belarusian products in the domestic and foreign markets, and effectively integrating the national agro-industrial complex into the global market space. The paper presents conceptual directions for improving the mechanism for ensuring food security of the Republic of Belarus. Trends of physical and economic availability of food in the domestic market, some destructive factors and potential threats have been revealed. Feasibility of developing national plan for implementation of provisions of the Doctrine and the principles of its arrangement have been substantiated, including: consistency with the model of ensuring national food security and independence; compliance with the criteria for sustainable development of the social-and-economic system of the agri-food complex; stakeholder inclusiveness and accountability; operational and strategic monitoring of the efficiency of measures, etc. The main units of measures are proposed, which cover creation of an efficient monitoring and management system; ensuring quality and safety of food in the domestic market; promotion and implementation of principles of healthy diets among population; regulation of the domestic market balance; increasing the competitiveness of the domestic agri-food complex; creation of favorable competitive environment; development of scientific, innovation and investment potential. This development will increase the efficiency of the Doctrine of National Food Security as a strategic planning document, as well as substantiate and introduce the mechanisms required for solving the assigned tasks. Acknowledgments. The research was carried out as part of the state scientific and technical research program “Agricultural Technologies and Food Security”, subprogram “AIC Economy” for 2021-2025.

**Keywords:** food security and independence, agri-food complex, monitoring, management, doctrine, measures plan, competitiveness, sustainability, production-and-economic potential, efficiency, import substitution

**For citation:** Pilipuk A. V., Rastorguev P. V., Gusakov G. V., Kondratenko S. A., Karpovich N. V., Pochtovaya I. G., Lobanova L. A. Principal directions for improving the mechanism for ensuring food security of the republic of Belaru. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 135-150 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-135-150>

**Введение.** Продовольственная проблема в Беларуси успешно решается на базе научно обоснованных разработок отечественных ученых. За 30 последних лет в агропромышленном комплексе произошли коренные изменения социально-трудовых и производственных отношений. Суверенная республика преодолела дефицит и обеспечила продовольственную безопасность. Сельское хозяйство удовлетворяет не только внутренний спрос, но и формирует крупные экспортные фонды для экономики государства. Накопленные знания и практический опыт позволили подготовить ряд новейших стратегических документов по методологии сквозного обеспечения национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь (например, таких как Концепция, а затем Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь, Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции в Республике Беларусь и др.). Однако время не стоит на месте и требует развития разработанных ранее подходов к решению задач продовольственного снабжения страны [1, 2]. Например, существует объективная необходимость обеспечения неоспоримых конкурентных преимуществ отечественных продуктов питания по критериям безопасности и качества, расширения сбытового потенциала белорусской продукции на внутреннем и внешних рынках, эффективной интеграции национального АПК в мировое рыночное пространство [3]. Актуализации и уточнения требуют параметры индикаторов, отражающих продовольственную безопасность страны.

В этой связи в данном научном исследовании поставлена цель обосновать принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь, а также методологию их реализации посредством ключевых документов стратегического планирования – действующей Доктрины и разрабатываемого Комплексного национального плана по реализации ее положений на 2021–2025 годы.

**Основная часть.** В целях реализации государственной политики в области обеспечения продовольственной безопасности постановлением Совета Министров №962 от 15 декабря 2017 г. (далее Постановление) утверждена Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г. Данный нормативный правовой документ закрепляет перечень контрольных показателей, критериев и индикаторов, регламентирующих достижение продовольственной безопасности (продовольственной независимости по основным видам сельскохозяйственного сырья и готового продовольствия) государства, а также продовольственную обеспеченность различных категорий населения. Указанное Постановление на системном уровне закрепляет необходимость проведения мониторинга национальной продовольственной безопасности с целью последующего информирования Совета Министров Республики Беларусь и других ведомств о ее состоянии и принятия своевременных управленческих решений. Таким образом, результатом мониторинга как средства концентрации внимания органов государственного управления на проблематике обеспечения продовольственной безопасности стало, например, то,



что 1 марта 2020 г. вступили в силу разработанные Министерством антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь (МАРТ) Рекомендации по обеспечению соблюдения положений Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь<sup>1</sup>. В этой связи проведение мониторинга, а также контроль за соблюдением рекомендаций МАРТ к настоящему времени могут быть признаны полноценными мероприятиями по реализации Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года.

Стоит отметить, что документ, аналогичный белорусской Доктрине, существует и в Российской Федерации, однако он обладает иным правовым статусом. Так, в Указе Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» отмечается, что «...настоящая Доктрина является документом стратегического планирования, в котором отражены официальные взгляды на цели, задачи и основные направления государственной социально-экономической политики в области обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации...». Иными словами, Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации имеет прямую связь с Федеральным Законом № 172-ФЗ от 28 июня 2014 г. «О стратегическом планировании в Российской Федерации» и поэтому занимает высокое положение в иерархии нормативных правовых документов, а также обязательна к исполнению. Кроме того, посредством Доктрины в Российской Федерации контролируются лишь индикаторы продовольственной самообеспеченности, а целевые показатели валового производства сельскохозяйственного сырья и готового продовольствия, рентабельности, материально-технической оснащенности и обеспеченности организаций АПК и др. внесены в план мероприятий (так называемую «дорожную карту»), закрепленный распоряжением правительства Российской Федерации № 1516-р от 9 июня 2020 г. Дорожная карта предполагает разработку федеральных, краевых, отраслевых и иных программ развития АПК.

Для придания более весомого правового статуса Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь необходимо обеспечить ее функционирование в рамках Закона Республики Беларусь № 157-З от 5 мая 1998 г. «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития». При соблюдении данного условия цель и целевые показатели Государственной программы «Аграрный Бизнес 2021–2025» – «...повышение конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, наращивание экспортного потенциала, развитие экологически безопасного сельского хозяйства, ориентированного на укрепление продовольственной безопасности страны, обеспечение полноценного питания и здорового образа жизни населения...» – будут полностью гармонизированы с параметрами Доктрины.

Помимо Рекомендаций по обеспечению соблюдения положений Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь на базе Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь организовано межведомственное взаимодействие (с участием представителей Национальной академии наук Беларуси) по вопросам выработки конструктивных предложений (мер, методов, инструментов, механизмов и др.), способных мотивировать розничную торговлю к ориентации на белорусские продовольственные товары. В рамках уставных документов функционирования Евразийского экономического союза, а также в контексте потенциального участия Республики Беларусь во Всемирной торговой организации существует ряд противоречий по возможности соблюдения критериев и параметров Доктрины национальной продовольственной безопасности в области ограничений в сфере розничной торговли продовольствием, а также изменения (повышения) внутренних нормативных требований к качеству и безопасности продовольственных ресурсов. В этой связи Институтом системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси проведена работа по организации межведомственного исследования направлений развития национального правового поля в условиях функционирования системы международных обязательств по вопросам обеспечения национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь. Это позволит определить целесообразность разработки Закона Республики Беларусь «О продовольственной

<sup>1</sup> Рекомендации по обеспечению соблюдения положений Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Министерство антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь. Режим доступа: [https://mart.gov.by/sites/mart/home/activities/regulation-trade/food\\_safety.html](https://mart.gov.by/sites/mart/home/activities/regulation-trade/food_safety.html). Дата доступа: 18.01.2021.

безопасности», в котором могут быть закреплены основные положения Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь либо иных правовых актов, например, комплексных мероприятий по реализации положений Доктрины.

Проект подобного Закона существует в Российской Федерации (Проект Закона «О продовольственной безопасности Российской Федерации» №99 013 560-2), а также во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. №20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» Правительством Российской Федерации утвержден план мероприятий по реализации положений Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации №1516-Р от 9 июня 2020 года). В Республике Туркменистан подобный закон уже функционирует (Закон Туркменистана от 15 июня 2000 г. №29-П «О продовольственной безопасности» (в редакции от 23 ноября 2016 г.)). Также существует Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств от 16 октября 1999 г. №14-10 о Модельном Законе «О продовольственной безопасности» и др.

Важнейшим элементом реализации Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года является проведение мониторинга, результаты которого являются основанием для принятия стратегических решений в Совете Министров и других уполномоченных ведомствах, а также доводятся до широкой общественности путем опубликования научного издания, размещаемого на электронном ресурсе Института системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси. Основными направлениями ежегодного мониторинга являются: изучение глобальных тенденций в области обеспечения продовольственной безопасности и международная оценка уровня продовольственной безопасности в странах и регионах мира, анализ физической и экономической доступности продовольствия в Республике Беларусь, а также экологической устойчивости сельскохозяйственного производства [4]. Особое внимание уделяется оценке сбалансированности и прогнозированию развития рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия.

Согласно исследованиям, проведенным по результатам 2019 г., в Республике Беларусь для удовлетворения потребностей внутреннего рынка преимущественно за счет собственных ресурсов сложился избыточный по отношению к внутреннему спросу уровень производства по следующим товарным позициям: молоко и молокопродукты – 240,8 % от внутренних нужд; сахар белый – 185,7; растительное масло – 227,3; мясо и мясопродукты – 132,8; яйца – 128,4; картофель – 111,0; овощи – 107,3 %. По-прежнему недостаточный уровень самообеспечения отмечался по рыбе – 13,8 %, фруктам и ягодам – 48,0 %.

*Интегральный индекс продовольственной безопасности по итогам 2019 г. составил 1,02, что свидетельствует об обеспечении физической доступности сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. В частности, индекс производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия составил 1,15, энергетической ценности рациона – 0,96, потребления основных продуктов – 1,01, пищевой ценности рациона – 0,97 (табл. 1).*

**Т а б л и ц а 1. Интегральная оценка продовольственной безопасности Республики Беларусь с позиции физической доступности, 2016–2019 гг., коэффициент**

**Table 1. Integral assessment of food security of the Republic of Belarus from standpoint of physical accessibility, 2016–2019, coefficient**

Интегральный индекс	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия	1,07	1,16	1,13	1,15
Энергетической ценности рациона	0,95	0,95	0,95	0,96
Потребления основных продуктов	1,00	0,99	1,01	1,01
Пищевой ценности рациона (белки, жиры, углеводы)	0,95	0,95	0,96	0,97
Продовольственной безопасности	0,99	1,01	1,01	1,02

**П р и м е ч а н и е.** Таблица составлена и рассчитана авторами по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Национальный агропродовольственный сектор не только в полной мере обеспечивает продовольственную безопасность страны, но и формирует значимый экспортный потенциал [5–7]. Доля экспорта продукции сельского хозяйства и перерабатывающих отраслей в валовом внутреннем продукте страны составляет более 8 % (в 2019 г. – 8,8 %), а в объемах совокупного экспортного потенциала страны – более 15 % (в 2019 г. – 17,3 %). Товарооборот республики сельскохозяйственными товарами и продовольствием в 2019 г. составил 10 192,6 млн долларов США, положительная величина внешнеторгового сальдо достигла 881,0 млн долларов США [6, 8]. По оценкам, стоимость экспорта сельскохозяйственного сырья и продовольствия Беларуси к 2025 г. может возрасти до 7,0 млрд долларов США при условии достижения запланированных показателей по производству продукции высокого качества и благоприятной ценовой конъюнктуры на мировом агропродовольственном рынке. Актуальным направлением в данной связи является географическая и товарная диверсификация экспортных поставок сельскохозяйственного сырья и готового продовольствия путем расширения экспорта продукции растительного происхождения, товаров с более глубокой степенью переработки, улучшенными качественными характеристиками, а также высокой добавленной стоимостью.

Несмотря на то, что продовольственная безопасность Республики Беларусь стабильно обеспечивается по количественным критериям, результаты мониторинга указывают на наличие отдельных деструктивных тенденций и потенциальных угроз в сфере устойчивого функционирования АПК и обеспечения физической доступности сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [9], среди которых можно выделить следующие:

- 1) отклонение фактических объемов производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции от критического уровня потребности в разрезе регионов;
- 2) отклонение фактических объемов производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции от запланированных в 2019 г. Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы;
- 3) несоответствие рациона питания населения рациональным нормам (избыток высококалорийных продуктов, таких как сахар, при недостатке потребления молока, яиц, рыбы, хлебопродуктов);
- 4) недостаточный для расширенного воспроизводства уровень рентабельности реализованной продукции, товаров, работ, услуг в организациях сельского хозяйства (табл. 2).

В 2019 г. темп роста реальных располагаемых доходов населения составил 106,0 %, что на 1,9 п.п. ниже уровня 2018 г. Вместе с тем уровень показателя на 3,8 п.п. превысил минимально допустимое значение, установленное Доктриной (102,2 %). Отмечалось сокращение удельного веса населения с уровнем среднедушевых располагаемых ресурсов ниже бюджета прожиточного минимума – до 5,0 % (в 2018 г. – 5,6 %), в том числе в городах и поселках городского типа – 4,0 %, в сельских населенных пунктах – 8,0 %. Соотношение уровня среднедушевых располагаемых ресурсов в расчете на одного члена домашнего хозяйства на 16,2 % выше минимально допустимого значения, установленного Доктриной. Уровень зарегистрированной безработицы составил 0,2 % от численности экономически активного населения.

Несмотря на ряд положительных тенденций, в ходе исследований были выявлены *потенциальные угрозы* продовольственной безопасности с позиции экономической доступности продовольствия [10]. Так, фактическое значение удельного веса расходов на питание в структуре потребительских расходов домашних хозяйств все еще превышает допустимое значение в 35,0 %, хотя и прослеживается движение к заданному эталонному уровню. Наименее обеспеченные домашние хозяйства на питание тратят 43,9 % потребительских расходов, наиболее обеспеченные – 30,0 %. В 2019 г. отмечался рост потребительских цен на продукты питания. Продолжает снижаться доля продовольственных товаров отечественного производства, реализованных организациями торговли на внутреннем рынке [6]. В 2019 г. Этот показатель составил 77,5 % при допустимом значении, установленном в Доктрине – не менее 85,0 % (табл. 3).

Как уже отмечалось, фундаментальной задачей Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года является развитие внутреннего производства основных видов сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, достаточного для обеспечения продовольственной независимости и реализации экспортного потенциала АПК (Гл. 5 Доктрины). Таким образом, долю товаров отечественного производства в розничной

Т а б л и ц а 2. Отдельные индикаторы физической доступности сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Республике Беларусь, 2016–2019 гг.

Table 2. Separate indicators of physical availability of agricultural products, raw materials and food in the Republic of Belarus, 2016–2019

Индикатор	Допустимое значение	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Отклонение от допустимого значения, установленного Доктриной, 2020 г., п.п.
Индекс производства продукции растениеводства в хозяйствах всех категорий (в сопоставимых ценах), %	Не менее 103–104	105,9	106,2	93,9	105,7	+2,7
Индекс производства продукции животноводства в хозяйствах всех категорий (в сопоставимых ценах), %		101,0	102,4	99,2	100,6	–2,4
Выполнение целевого показателя по производству сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в соответствии с Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь, %:	98–101					
зерно		84,8	88,1	65,7	75,5	–22,5
рапс		34,7	78,8	58,5	72,3	–25,7
сахарная свекла		89,0	103,8	98,0	100,5	+2,5
льноволокно		75,1	76,9	71,8	84,0	–14,0
картофель		99,1	105,4	97,8	103,2	+5,2
овощи		117,5	121,8	108,6	115,4	+17,4
плоды и ягоды		149,0	98,6	196,7	110,2	+12,2
производство (выращивание) скота и птицы	90–110	93,1	91,8	93,7	92,6	–5,4
молоко		99,6	95,7	89,9	85,1	–12,9
Отношение уровня производства основных видов сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия к потребности по критическому уровню безопасности, %:						
зерно		124	133	103	122,2	32,2
картофель		117	126	115	119,7	29,7
овощи		172	178	159	168,5	78,5
плоды и ягоды		101	68	136	77,9	–12,1
рапс		72	168	127	160,6	70,6
сахарная свекла	90–110	178	204	199	204,4	114,4
скот и птица (уб.в.)		130	134	136	137,8	47,8
молоко		159	163	163	164,3	74,3
рыба		68	65	70	66,4	–23,6
яйца		181	176	168	175,7	85,7
Рентабельность реализованной продукции, товаров, работ, услуг в сельскохозяйственных организациях, %	Не менее 30	2,5	7,7	4,3	4,5	–25,5
Интегральный индекс достаточности производства по обеспечивающим видам сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия	Больше 1	1,07	1,16	1,13	1,15	+0,15
Сальдо внешней торговли сельскохозяйственной продукцией и продуктами питания, млн долл. США	Положительное	155,3	387,4	855,7	892,5	Достигнуто

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена и рассчитана авторами на основании данных Национального статистического комитета Республики Беларусь по установленной методологии: О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., №962 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2018.

Т а б л и ц а 3. Отдельные индикаторы экономической доступности продовольствия в Республике Беларусь, 2016–2019 гг.

T a b l e 3. Separate indicators of foodstuff economic availability in the Republic of Belarus, 2016–2019

Индикатор	Допустимое значение	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Отклонение от допустимого значения, установленного Доктриной, в 2019 г., п.п.
Доля расходов на продукты питания в структуре потребительских расходов домашних хозяйств, %		41,5	40,7	38,9	38,7	+3,7
Из них:	Не более 35,0					
в городах и поселках городского типа		41,2	40,5	38,7	38,4	+3,4
сельской местности		43,0	41,2	39,6	39,6	+4,6
по основной 10%-ной группе наиболее обеспеченных домашних хозяйств		32,7	32,4	30,6	30,0	–5,0
по основной 10%-ной группе наименее обеспеченных домашних хозяйств		45,0	44,6	44,0	43,9	+8,9
Реальные располагаемые денежные доходы населения, % к предыдущему году	Не менее 102,2	93,1	102,8	107,9	106,0	+3,8
Доля населения с уровнем среднедушевых располагаемых ресурсов ниже бюджета прожиточного минимума в общей численности, %		5,7	5,9	5,6	5,0	+0,5
Из них:	Не более 5,5 Не более 8,0					
в городах и поселках городского типа		4,2	4,6	4,4	4,0	–1,5
сельской местности		10,0	9,8	9,3	8,0	–
Уровень зарегистрированной безработицы, % к численности экономически активного населения	Не более 2,0	0,8	0,5	0,3	0,2	–1,8
Доля продажи продовольственных товаров отечественного производства организациями торговли на внутреннем рынке в общем объеме продаж, %	Не менее 85,0 %	81,6	80,8	79,5	77,5	7,5

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена и рассчитана авторами на основании данных Национального статистического комитета Республики Беларусь по установленной методологии: О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., №962 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2018.

торговле на внутреннем рынке целесообразно рассматривать в тесной связке с показателем импортной составляющей в затратах на производство сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (гл. 6 Доктрины). В этой связи следовало бы включить данный показатель в список рекомендаций МАРТ в качестве инструмента, добровольно ограничивающего потоки импортных продовольственных ресурсов для производства товаров под собственными торговыми марками (п. 1.4 Рекомендаций). В Доктрине установлены пороговые значения для данного показателя – до 20–22 % к 2020 г. и до 18–20 % к 2030 г. Фактический минимум за последнее десятилетие по данному показателю достигнут в 2018 г. – 23,7 %, максимум в 2016 г. – 27,1 %.

Целесообразным является и более четкое определение функций органов государственного управления в области проведения мониторинга национальной продовольственной безопасности. В частности, в Доктрине указано, что «...выполнение ежегодного мониторинга национальной продовольственной безопасности обеспечивается Национальной академией наук Беларуси, Министерством экономики, Министерством сельского хозяйства и продовольствия, Белорусским государственным концерном пищевой промышленности «Белгоспищепром». В то же время конкретные функции в рамках выше обозначенной задачи установлены лишь для Национальной академии наук Беларуси, которая обеспечивает мониторинг национальной продовольственной безопасности и ежегодно до 1 июля информирует Совет Министров Республики Беларусь о его результатах. В данном контексте необходимо уточнить перечень органов государственного



управления, функцией которых является предоставление необходимой информации для Национальной академии наук Беларуси. Кроме того, возможно правовое закрепление номенклатуры информационных данных, необходимых для обеспечения мониторинга, а также сроков их предоставления в Национальную академию наук Беларуси.

В соответствии с алгоритмом проведения ежегодного мониторинга национальной продовольственной безопасности, одним из разделов информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования состояния продовольственной безопасности могут стать результаты мониторинга качества продуктов питания на внутреннем рынке республики. Между тем система критериев обеспечения продовольственной безопасности в области качества и безопасности агропродовольственной продукции фактически не определена, особенно в части количественных показателей.

Вышеназванные параметры не получили дальнейшей детализации с точки зрения номенклатуры конкретных показателей. Помимо этого они касаются отдельных видов продукции, формирующих продовольственную безопасность страны при отсутствии агрегированных показателей оценки состояния проблемы на национальном уровне. В связи с этим в Доктрине целесообразна актуализация и разработка параметров оценки качества агропродовольственной продукции на принципах комплексности и системного подхода к решению данной проблемы, что может потребовать привлечения квалифицированных специалистов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», а также ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

В соответствии с Доктриной национальной продовольственной безопасности, одним из основных направлений ее укрепления является повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции, в том числе за счет внедрения ресурсосберегающих технологий. В этой связи отметим, что в республике разработаны и на системном уровне обновляются отраслевые регламенты по возделыванию всех основных сельскохозяйственных, овощных, плодовых, ягодных культур, а также по производству продукции животноводства<sup>2</sup>. Основным разработчиком регламентов являются специализированные научно-практические центры, зональные институты, а также областные опытные сельскохозяйственные станции Национальной академии наук Беларуси. Отраслевые регламенты являются объектом правового поля ряда нормативных правовых документов Республики Беларусь, в которых предусмотрена ответственность государственных органов управления и руководителей предприятий в части обновления и актуализации, распространения (доведения до исполнителей), соблюдения и анализа выполнения организациями АПК требований. К числу данных документов необходимо отнести Директиву Президента Республики Беларусь №6 «О развитии села и повышении эффективности аграрной отрасли» от 4 марта 2019 г., Декрет Президента Республики Беларусь №5 «Об усилении требований к руководящим кадрам и работникам организаций» от 15 декабря 2014 г., проект Государственной программы «Аграрный Бизнес 2021–2025» и др. В то же время их соблюдение сдерживается рядом причин, среди которых можно выделить следующие:

- 1) не определены правовой статус регламентов и единый порядок их утверждения;
- 2) не сформирована единая информационная база данных документов;
- 3) не обеспечен свободный доступ производителей сельскохозяйственной продукции к актуальным версиям отраслевых регламентов;
- 4) не определен перечень отраслевых регламентов, являющихся объектом правового поля соответствующих законодательных актов Республики Беларусь [11].

В данной связи решение вопроса правового регулирования статуса отраслевых регламентов предполагается включить в План мероприятий по реализации положений Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года.

<sup>2</sup> Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т аграрной экономики; сост.: В.Г. Гусаков [и др.]. Минск: Белорус. наука, 2005. 460 с. ; Организационно-технологические нормативы производства продукции животноводства и заготовки кормов: сб. отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики НАН Беларуси, Центр аграр. экономики. Минск: Белорус. наука, 2007. 283 с.



Помимо этого, в соответствии с задачами Доктрины, необходимо определить направления развития сквозных товаропроводящих сетей «от поля до полки супермаркета» с полным технологическим циклом (семеноводство и племенное дело – система сельскохозяйственных машин и оборудования – земледелие и растениеводство – животноводство – хранение, переработка, логистика, сбыт и послепродажное обслуживание) [12–15]. Для этого необходимо проработать следующие направления:

1) по содействию развитию национальных продуктовых компаний, развивающих фирменные торгово-сбытовые системы, обеспечивающие эффективное продвижение товаров белорусского производства (включая площадки для электронной торговли) [16]. Однако ситуацию усложняет то, что с 2010 г. количество торговых площадей в нашей стране увеличилось на 62 %, в то время как количество площадей для хранения – всего на 15 %. Это говорит об ориентации сферы розничной торговли на быстрый оборот посредством закупки готовых ликвидных товаров (в основном импортного производства, если рассматривать торговлю в целом). В противовес основному тренду такая компания может развиваться (при создании благоприятных условий), например, на базе системы Белкоопсоюза, ориентированного не только на производство, но и на продвижение и реализацию товаров отечественного производства;

2) по мотивации розничной торговли (в том числе сетевой) на рост продаж отечественных продовольственных товаров (система бонусов, поощрений/ограничений), в том числе предполагающая функционирование в рамках Кодекса добросовестной практики объектов розничной и интернет-торговли. Любые административные ограничения импортных потоков могут привести к зеркальной реакции. В этой связи целесообразно развивать систему стимулирования продаж белорусских продовольственных товаров;

3) по развитию национального института питания (правовые и организационно-экономические основы и инструменты), задачами которого будут являться: исключение импорта товаров и ресурсов, несоответствующих требованиям национальных стандартов качества и безопасности; развитие национальных норм питания, ориентированных на формирование культуры питания населения и потребление пищевых продуктов высокого качества; формирование высокого уровня грамотности населения в продовольственной сфере и др. [3, 15].

Одним из направлений защиты внутреннего рынка от импорта некачественного продовольствия и поддержки отечественных производителей является развитие программно-целевого метода поддержки и внедрение принципов здорового питания в республике, улучшение качества и обеспечение безопасности отечественной продукции, постоянное совершенствование стандартов в соответствии с актуальными требованиями к уровню качества и безопасности агропродовольственных товаров. В Национальной академии наук Беларуси разработана Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции в Республике Беларусь до 2030 года, которая ориентирована на реализацию данного направления с целью нормативного обеспечения процессов формирования национальной системы здорового питания, стимулирования спроса на качественные пищевые продукты, повышение уровня информированности и компетентности населения в области безопасности продукции и здорового питания.

Проведенный нами анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения продовольственной безопасности [17–20] позволяет обозначить концепцию построения национального плана по реализации положений Доктрины на 2021–2025 годы.

1. Обоснованы принципы формирования Комплексного национального плана (включения в план направлений и мер), которые заключаются в следующем:

- согласованность с принципами национальной продовольственной безопасности и независимости, а также общими подходами обеспечения коллективной продовольственной безопасности государств – членов ЕАЭС;

- соответствие критериям устойчивого развития социально-экономической системы агропродовольственного комплекса, включая создание благоприятных условий для жизни и труда в сельской местности, эффективной занятости в отраслях экономики, сохранение и улучшение природных ресурсов;

- инклюзивность и ответственность заинтересованных сторон в процессе выработки и реализации плана (представители гражданского общества, научные организации, органы

государственного управления и ведомства, объединения производителей сельскохозяйственной продукции, сырья, материалов и продовольствия, организации оптовой и розничной торговли, инфраструктуры);

– оперативный и стратегический мониторинг эффективности ключевых блоков и отдельных мер относительно достижения критериев продовольственной безопасности;

– сквозной подход в выработке критериев, мер и механизмов реализации, предусматривающий:

- ориентацию всех участников продовольственной цепочки на достижение целевых ориентиров и критериев физической, экономической доступности и качества продукции (предполагает как доступность продуктов питания высокого качества для населения, так и сырья для пищевой и перерабатывающей промышленности);
- наличие контрольных индикаторов для всех уровней и типов субъектов продовольственной цепочки (наращивание и эффективность производственно-экономического потенциала, конкурентоспособность продукции, инновационная активность и др.) и др.;

– наличие транспарантных механизмов взаимодействия ответственных органов государственного управления, ведомств, организаций при решении конкретных задач и мер, предусмотренных планом, а также ликвидации последствий влияния угроз продовольственной безопасности.

2. Обозначены основные блоки, по которым предлагается начать формирование мероприятий [2, 21–24].

1) Создание эффективной системы мониторинга и управления продовольственной безопасностью:

– актуализация критериев и индикаторов национальной продовольственной безопасности с учетом изменения внешних факторов, достигнутых результатов и социально-экономических условий в регионах;

– создание информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования продовольственной безопасности, обеспечивающей устойчивое информационное и методическое взаимодействие между субъектами и регуляторами всех уровней, а также интегрированной в информационное пространство ЕАЭС, Союзного государства;

– определение функций и полномочий заинтересованных органов государственного управления, ведомств и субъектов по обеспечению продовольственной безопасности и регулированию в случаях возникновения и негативного влияния внешних и внутренних угроз;

– внедрение индикаторов экономической безопасности по допустимой доле импортных товаров на внутреннем рынке республики по чувствительным товарным группам, увязанные с параметрами конкурентной среды отраслей, прогнозами потребительского спроса и целевыми критериями производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия.

2) Обеспечение качества и безопасности сельскохозяйственной продукции и продовольствия:

– формирование централизованной информационной базы отраслевых регламентов на типовые технологические процессы производства сельскохозяйственной продукции с принятием правового акта, устанавливающего порядок разработки, согласования и утверждения таких документов;

– создание комплексных систем мониторинга качества и безопасности сельскохозяйственной продукции и готового продовольствия, цифровизация соответствующих баз данных на основе формирования нормативно-правовой базы регулирования данного процесса;

– развитие экономического механизма стимулирования устойчивого производства сельскохозяйственной продукции, отвечающей нормативным требованиям;

– внедрение систем управления качеством и безопасностью продукции, начиная от производства сельскохозяйственного сырья до реализации конечной продукции, посредством адаптированных с учетом специфики и особенностей отрасли систем менеджмента качества и безопасности в сельском хозяйстве на основе требований HACCP, ИСО 22 000, ИСО 9001;

– формирование национальной концепции качества и безопасности сельскохозяйственного сырья и продовольствия, предусматривающей систему приоритетных направлений развития методов и инструментов обеспечения устойчивого производства продукции, соответствующей требованиям технических нормативных правовых актов.

3) Пропаганда и внедрение принципов здорового питания среди населения республики:

- продвижение приоритетов национальной и государственной политики в области здорового питания населения, обеспечение необходимого взаимодействия ответственных и заинтересованных органов государственного управления, ведомств, представителей гражданского общества;
- проработка вопроса реализации школьных программ обеспечения молочными продуктами, а также овощами и фруктами, направленных на стимулирование потребления отечественных продуктов здорового питания, расширение знаний и интересов в сфере здоровья и сельского хозяйства;
- определение уязвимых категорий населения и проработка вопроса государственной (государственно-частной) поддержки, направленной на обеспечение продуктами здорового питания в рамках развития внутренней продовольственной помощи;
- разработка планов работ в сфере информирования и консультирования населения, производителей и продавцов продовольствия в области качества и безопасности пищевых продуктов, сырья и технологий;
- продвижение передовых и инновационных разработок отечественной «Индустрии здорового питания» в сферах производства, хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и продовольствия, общественного питания.

4) Регулирование сбалансированности внутреннего продовольственного рынка:

- разработка и внедрение инструментов стабилизации экспортоориентированных рынков (сахар, молочная продукция), в том числе организация государственных интервенционных закупок и продаж, оказание государственной поддержки хранения запасов; создание комплексной системы (центра/агентства) актуального мониторинга и регулирования рынков);
- поддержка создания устойчивых моделей продвижения сельскохозяйственной продукции и продовольствия для средних и мелких сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств населения;
- внедрение практики долгосрочных маркетинговых соглашений на поставку сельскохозяйственной продукции и продовольствия на национальном уровне и в рамках ЕАЭС, включая участие в государственных закупках государств-членов.

5) Повышение устойчивости и конкурентоспособности отечественного агропродовольственного комплекса:

- разработка и реализация инновационных стратегий развития отраслей и предприятий с обязательным достижением конкурентных критериев производительности труда и прироста добавленной стоимости, обеспечивающих интенсивное взаимодействие организаций АПК и науки, освоение и окупаемость затрат на НИОКР по всем стадиям технологической цепи;
- укрепление собственной сырьевой базы производства пищевых продуктов высокого качества, в том числе органических, повышение эффективности сырьевых зон агропромышленного производства на основе интенсификации, совершенствования специализации и размещения отраслей;
- развитие новых конкурентных производств и повышение качества продукции с использованием потенциала отечественной индустрии здорового питания, в том числе: развитие производства органических пищевых продуктов и сырья; создание технологий пищевых добавок на основе местного экологического сырья; персонализация питания и создание детских, функциональных продуктов;
- совершенствование моделей и технологий продвижения отечественной продукции, предусматривающих создание устойчивых интегрированных продовольственных систем, ориентированных на производство и снабжение населения продуктами питания высокого качества; реализацию программ обеспечения молочными продуктами, местными овощами и фруктами в школах; создание цифровых оптово-распределительных центров и др.;
- создание отечественной цифровой платформы для электронной торговли продуктами питания (оптовой и розничной), включая мобильное приложение для розничных покупателей с информацией о принципах здорового питания, безопасности и качестве продукции, ассортименте местных товаропроизводителей и возможностью формировать заказ на доставку;
- проработка вопроса создания специализированных оптовых распределительных центров по торговле скоропортящейся продукцией с современными цифровыми технологиями товародвижения.

6) Создание благоприятной конкурентной среды для наращивания производственно-экономического потенциала отечественного АПК:

- обоснование концепции (принципы, основные положения) добровольных соглашений между участниками рынка продовольствия, сельскохозяйственной продукции и сырья, направленных на решение конкретных проблем и упреждение угроз продовольственной безопасности, которые будут применяться в следующих ситуациях: роста цен и снижения экономической доступности основных продуктов для населения и уязвимых категорий; роста импорта, в том числе продукции более низкого качества; проявления «рыночной власти» торговых сетей и поставщиков ресурсов; ограничения доступа на рынок мелких и местных производителей;

- проведение комплексного анализа состояния конкурентной среды на рынке материально-технических ресурсов, сельскохозяйственного сырья и готового продовольствия, выявление предпосылок монополизации со стороны различных групп субъектов;

- оценка (мониторинг) влияния ограничений конкурентной среды на эффективность субъектов в цепочке создания стоимости агропромышленной продукции (оценить реальные и потенциальные потери, взвесить риски);

- выработка консолидированных предложений по совершенствованию и развитию конкурентной среды от различных уровней и групп субъектов АПК, выполнить их научное обоснование и представить в виде комплекса мер, согласованного с заинтересованными органами государственного управления с утверждением их к реализации;

- разработка «Дорожной карты» мер по развитию конкурентной среды в агропромышленном комплексе (международный региональный, национальный, региональный уровни), ориентированных на укрепление потенциала национальной продовольственной безопасности и повышение устойчивости агропродовольственного рынка;

- расширение практики кооперации производителей сырья и перерабатывающих предприятий в рамках сырьевых зон, общих производственных и сбытовых программ, ориентированных на достижение целевых параметров производства, эффективности, качества.

7) Развитие научно-инновационного и инвестиционного потенциала АПК предусматривает следующие меры:

- государственно-частная поддержка и стимулирование научных исследований и инноваций в агропромышленном комплексе, освоение отечественных и зарубежных прогрессивных технологий и консультирование товаропроизводителей;

- реализация кооперационных межотраслевых программ и проектов повышения эффективности отраслей животноводства на национальном уровне и с привлечением субъектов из государств – членов ЕАЭС, регионов Союзного государства;

- разработка и реализация кооперационных научно-производственных программ в сфере развития экспортно ориентированных или импортозамещающих производств (масложировая отрасль, кормопроизводство, производство семян), в том числе во взаимодействии с субъектами ЕАЭС, Союзного государства;

- создание интегрированных продовольственных компаний, объединяющих конкурентоспособные специализированные производства сырья и готовой продукции, научно-инновационный потенциал (инновационные технологии и разработки) и обеспечивающих эффективное продвижение на экспорт.

**Заключение.** Направления реализации и совершенствования государственной политики Республики Беларусь в сфере обеспечения продовольственной безопасности должны включать комплекс совершенно конкретных мероприятий, обеспечивающих оптимальное использование производственного потенциала для нужд внутреннего рынка, а также всемерную активизацию внешнеэкономической деятельности. При этом важным является поддержание снабжения продуктами питания на уровне, достаточном для здорового питания, устранение зависимости от необоснованного импорта и защита интересов отечественных товаропроизводителей.

На основании проведенного исследования обоснованы принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения национальной продовольственной безопасности, которые заключаются в следующем:

1. Обоснована целесообразность разработки Комплексного национального плана по реализации положений Доктрины, который должен формироваться на базе методологических прин-



ципов, включая: согласованность с моделью обеспечения национальной продовольственной безопасности и независимости; соответствие критериям устойчивого развития социально-экономической системы агропродовольственного комплекса; инклюзивность и ответственность заинтересованных сторон; оперативный и стратегический мониторинг эффективности мер; сквозной подход в выработке критериев и мер, использование транспарантных механизмов управления.

2. Предложены ключевые блоки, по которым предлагается начать формирование мероприятий. Они охватывают следующие сферы: создание эффективной системы мониторинга и управления продовольственной безопасностью; обеспечение качества и безопасности сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на внутреннем рынке; пропаганда и внедрение принципов здорового питания среди населения республики; регулирование сбалансированности внутреннего рынка; повышение устойчивости и конкурентоспособности отечественного агропродовольственного комплекса; создание благоприятной конкурентной среды для наращивания производственно-экономического потенциала; развитие научно-инновационного и инвестиционного потенциала АПК.

3. Обозначена необходимость разработки комплекса мер (дорожной карты) по развитию конкуренции в агропромышленном комплексе как одного из инструментов эффективного обеспечения продовольственной безопасности. Разработка должна основываться на системном мониторинге состояния конкурентной среды на рынке материально-технических ресурсов, сельскохозяйственного сырья и готового продовольствия и оценке влияния ограничений на эффективность субъектов, включать консолидированные предложения по развитию конкурентной среды. Это позволит ориентировать участников рынка на укрепление потенциала национальной продовольственной безопасности и повышение устойчивости агропродовольственного комплекса, позволит обеспечить рост внутреннего рынка за счет рационализации внутреннего потребления и установления социально приемлемого уровня цен на продовольствие.

Использование в практической деятельности предлагаемых результатов и предложений позволит определить перспективы повышения эффективности обеспечения продовольственной безопасности страны, в частности, за счет улучшения экономической и физической доступности, а также наиболее эффективно достичь целей и задач Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года.

**Благодарности.** Работа выполнена в ходе выполнения ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмма «Экономика АПК» на 2021–2025 гг. задание «Разработка методологии и механизмов управления долгосрочной устойчивостью национальной агропродовольственной системы Республики Беларусь».

#### Список использованных источников

1. Гусаков, Г. Сельское хозяйство: прошлое, настоящее, будущее / Г. Гусаков // Наука и инновации. – 2019. – №5 (195). – С. 68–73.
2. Гусаков, Г. Сельское хозяйство: прошлое, настоящее, будущее / Г. Гусаков // Наука и инновации. – 2019. – №6 (196). – С. 69–74.
3. Гусаков, В.Г. Конкурентоустойчивое развитие производства продуктов здорового питания в предприятиях пищевой промышленности Беларуси / В.Г. Гусаков, А.В. Пилипук ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси. – Минск : Беларус. навука, 2018. – 367 с.
4. Гусаков, Г. Экологизация сельского хозяйства: мифы и реальность / Г. Гусаков // Наука и инновации. – 2020. – №2 (204). – С. 24–31.
5. Перспективы развития экспорта агропродовольственных товаров Беларуси на рынок стран ЕС / Г. Гусаков [и др.] // Аграр. экономика. – 2020. – №10 (305). – С. 31–41.
6. Повышение эффективности внешней торговли АПК Беларуси в условиях развития международного экономического пространства / В.Г. Гусаков [и др.] ; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 238 с.
7. Продовольственная безопасность Республики Беларусь: достижения и перспективы / А.В. Пилипук [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, №1. – С. 24–41. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-24-41>
8. Бельский, В.И. Механизм сбалансированного развития внешней торговли Беларуси агропродовольственными товарами в рамках ЕАЭС / В.И. Бельский, Н.В. Карпович. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2019. – 199 с.
9. Мониторинг продовольственной безопасности – 2019: социально-экономические условия / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2020. – 349 с.

10. Международная оценка продовольственной безопасности: глобальные значения и рейтинговые позиции Беларуси / Г. В. Гусаков [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 3. – С. 268–282. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-3-268-282>
11. Расторгуев, П. Тенденции и перспективы развития управления качеством агропродовольственной продукции в Беларуси / П. Расторгуев // Обеспечение качества продукции АПК в условиях региональной и международной интеграции : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–16 окт. 2020 г. / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси ; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск, 2021. – С. 185–188. <https://doi.org/10.47612/978-985-7149-55-1-2020-185-188>
12. Гусаков, Г. В. Комплексная система управления продовольственной безопасности. Методологические и методические решения / Г. В. Гусаков. – Минск : Беларус. навука, 2018. – 211 с.
13. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков [и др.] ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.] ; Нац. акад. наук Беларусі, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 683 с.
14. Пилипук, А. В. Конкурентоспособность предприятий пищевой промышленности Беларуси в условиях построения Евразийского экономического союза / А. В. Пилипук ; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2018. – 237 с.
15. Пилипук, А. Предпосылки и условия трансформации белорусских агрохолдингов в продовольственные транснациональные корпорации / А. Пилипук // Наука и инновации. – 2020. – № 10 (212). – С. 52–56.
16. Пилипук, А. В. Организация фирменных торгово-сбытовых систем в агропромышленном комплексе Беларуси / А. В. Пилипук ; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2011. – 177 с.
17. Нохрин, М. В. Разработка дорожных карт инновационного развития секторов российской экономики [Электронный ресурс] / М. В. Нохрин. – Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2011/11/01/1269347478/Методология%2013.521.11.1016.pdf>. – Дата доступа: 18.01.2020.
18. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Нац. исслед. ун-т Высш. шк. экономики ; [подгот.: Л. М. Гохберг и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2017. – 139 с.
19. Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. / Гос. ком. по науке и технологиям Респ. Беларусь, Белорус. ин-т систем. анализа и информ. обеспечения науч.-техн. сферы ; под ред. А. Г. Шумилина. – Минск : БелИСА, 2020. – Т. 1. – 62 с.
20. Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. / Гос. ком. по науке и технологиям Респ. Беларусь, Белорус. ин-т систем. анализа и информ. обеспечения науч.-техн. сферы ; под ред. А. Г. Шумилина. – Минск : БелИСА, 2020. – Т. 3. – 82 с.
21. Кондратенко, С. А. Направления совершенствования механизма устойчивого развития региональных агропродовольственных комплексов Республики Беларусь / С. А. Кондратенко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 2. – С. 143–163. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-2-143-163>
22. Кондратенко, С. А. Устойчивое развитие регионального агропродовольственного комплекса: теория, методология, практика / С. А. Кондратенко ; ред. В. Г. Гусаков. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2019. – 286 с.
23. 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 // Белорус. экон. журн. – 2020. – № 2 (91). – С. 79–95. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2020-2-79-95>
24. Пилипук, А. В. Тенденции и факторы конкурентного функционирования пищевой промышленности Республики Беларусь / А. В. Пилипук, С. А. Кондратенко // Стратегия развития экономики Беларуси: вызовы, инструменты реализации и перспективы : сб. науч. ст. : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларусі, Ин-т экономики НАН Беларуси; редкол.: В. И. Бельский [и др.]. – Минск, 2019. – Т. 1. – С. 33–41.
25. Карпович, Н. Риски мирового рынка: причины возникновения, сфера действия и алгоритм управления / Н. Карпович // Аграр. экономика. – 2020. – № 8 (303). – С. 10–19.
26. Условия и факторы реализации доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года / В. Г. Гусаков [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 3. – С. 263–285. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-3-263-285>

## References

1. Gusakov G. Agriculture: past, present, future. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2019, no. 5 (195), pp. 68–73 (in Russian).
2. Gusakov G. Agriculture: past, present, future. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2019, no. 6 (196), pp. 69–74 (in Russian).
3. Gusakov V. G., Pilipuk A. V. *Competitive development of the production of healthy food in the food industry of Belarus*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2018. 367 p. (in Russian).
4. Gusakov G. Greening of agriculture: myths and reality. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2020, no. 2 (204), pp. 24–31 (in Russian).
5. Gusakov G., Karpovich N., Makutsenya E., Lobanova L. Prospects for the development of exports of agricultural and food products of Belarus on the EU market. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian economics*, 2020, no. 10 (305), pp. 31–41 (in Russian).



6. Gusakov V. G., Baigot L. N., Karpovich N. V., Baigot M. S., Akhramovich V. S., Makutsenya E. P., Glushakova D. S. *Improving the efficiency of foreign trade in the agricultural sector of Belarus in terms of development of the international trade and economic space*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 238 p. (in Russian).
7. Pilipuk A. V., Gusakov G. V., Karpovich N. V., Enchik L. T., Lobanova L. A., Svistun, O. V. Food security of the Republic of Belarus: achievements and prospects. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no. 1, pp. 24-41 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-24-41>
8. Bel'skii V. I., Karpovich N. V. *The mechanism for the balanced development of foreign trade in agri-food products of Belarus within the EAEU*. Minsk, The Institute of System Researches in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2019. 199 p. (in Russian).
9. Gusakov V. G., Pilipuk A. V., Gusakov G. V., Rastorguev P. V., Karpovich N. V., Kondratenko S. A. (et al.). *Food security monitoring 2019: socio-economic conditions*. Minsk, The Institute of System Researches in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2020. 349 p. (in Russian).
10. Gusakov G. V., Karpovich N. V., Lobanova L. A., Enchik L. T., Gusakova I. V. International assessment of food security: global values and rating positions of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no. 3, pp. 268-282 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-3-268-282>
11. Rastorguev P. Trends and prospects for the development of quality management of agri-food products in Belarus. *Obespechenie kachestva produktsii APK v usloviyakh regional'noi i mezhdunarodnoi integratsii: materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Minsk, 15-16 oktyabrya 2020 g.)* [Quality ensuring of production of Agroindustrial Complex in the conditions of regional and international integration: proceedings of the XIII International scientific and practical conference (Minsk, October 15-16, 2020)]. Minsk, 2021, pp. 185-188 (in Russian). <https://doi.org/10.47612/978-985-7149-55-1-2020-185-188>
12. Gusakov G. V. *Integrated food security management system. Methodological and methodological solutions*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2018. 211 p. (in Russian).
13. Gusakov V. G., Bel'skii V. I., Kazakevich P. P. (et al.). *Scientific farming systems of the Republic of Belarus*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).
14. Pilipuk A. V. *Competitiveness of the enterprises of the food industry of Belarus in the context of building the Eurasian Economic Union*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2018. 237 p. (in Russian).
15. Pilipuk A. Prerequisites and conditions for the transformation of Belarusian agricultural holdings into food transnational corporations. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2020, no. 10 (212), pp. 52-56 (in Russian).
16. Pilipuk A. V. *Organization of branded sales and distribution systems in the agro-industrial complex of Belarus*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2011. 177 p. (in Russian).
17. Nokhrin M. V. *Development of roadmaps for innovative development of sectors of the Russian economy*. Available at: <https://www.hse.ru/data/2011/11/01/1269347478/Методология%203.521.11.1016.pdf> (accessed 18.01.2020) (in Russian).
18. Gokhberg L. M., Grebenyuk A. Yu., D'yachenko E. L., Kitova G. A., Kuznetsova T. E., Kuz'minov I. F. (comp.). *Forecast of scientific and technological development of the Russian agro-industrial complex for the period until 2030*. Moscow, National Research University Higher School of Economics, 2017. 139 p. (in Russian).
19. Shumilin A. G. (ed.). *Comprehensive forecast of scientific and technological progress for the Republic of Belarus for 2021-2025 and for the period until 2040. Vol. 1*. Minsk, The Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere, 2020. 62 p. (in Russian).
20. Shumilin A. G. (ed.). *Comprehensive forecast of scientific and technological progress for the Republic of Belarus for 2021-2025 and for the period until 2040. Vol. 3*. Minsk, The Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere, 2020. 82 p. (in Russian).
21. Kondratenko S. A. Lines for improving the mechanism of sustainable development of regional agri-food complexes 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*, 2020, vol. 58, no. 2, pp. 143-163 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-2-143-163>
22. Kondratenko S. A. *Sustainable development of the regional agri-food complex: theory, methodology, practice*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2019. 286 p. (in Russian).
23. 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 (91), pp. 79-95 (in Russian). <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2020-2-79-95>
24. Pilipuk A. V., Kondratenko S. A. Trends and factors of competitive functioning of food industry of the Republic of Belarus. *Strategiya razvitiya ekonomiki Belarusi: vyzovy, instrumenty realizatsii i perspektivy: sbornik nauchnykh statei* [Economic development strategy of Belarus: challenges, implementation tools, and prospects: a collection of scientific papers]. Minsk, 2019, vol. 1, pp. 33-41 (in Russian).
25. Karpovich N. Risks of the world market: causes, scope and control algorithm. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2020, no. 8 (303), pp. 10-19 (in Russian).
26. Gusakov V. G., Shpak A. P., Kireenko N. V., Kondratenko S. A. Conditions and factors of implementing the Doctrine for National Food Security in the Republic of Belarus by 2030. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 263-285 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-3-263-285>

**Информация об авторах**

*Пилипук Андрей Владимирович* – доктор экономических наук, доцент, директор, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: pilipuk@list.ru.

*Гусаков Гордей Владимирович* – кандидат экономических наук, заместитель директора по научной работе, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: gordei.v.gusakov@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-57446-3642>

*Расторгоев Петр Владиславович* – кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора по научной и инновационной работе, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: rastorgouev-pv@rambler.ru.

*Кондратенко Светлана Александровна* – кандидат экономических наук, доцент, зав. отделом продовольственной безопасности, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: kondratenko-0703@mail.ru.

*Карпович Наталья Викторовна* – кандидат экономических наук, зав. сектором продовольственных рынков и внешнеэкономической деятельности, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: karpovich\_nv@list.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5746-3642>.

*Почтовая Ирина Григорьевна* – кандидат экономических наук, доцент, заведующий сектором качества, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: pochira@rambler.ru.

*Лобанова Людмила Александровна* – старший научный сотрудник сектора продовольственных рынков и внешнеэкономической деятельности, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: labanova.2006@mail.ru

**Information about the authors**

*Andrey V. Pilipuk* - D.Sc. (Economic), Associate Professor. The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: pilipuk@list.ru.

*Gordei V. Gusakov* - Ph.D. (Economics). The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: gordei.v.gusakov@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-57446-3642>

*Petr V. Rastorgouev* - Ph.D. (Economics), Associate Professor. The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: rastorgouev-pv@rambler.ru.

*Svetlana A. Kondratenko* - Ph.D. (Economics), Associate Professor. The Institute of System Researches in Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazinets Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: kondratenko-0703@mail.ru

*Natallya V. Karpovich* - Ph.D. (Economics). The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: karpovich\_nv@list.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5746-3642>

*Irina G. Pochtovaya* - Ph.D. (Economics), Associate Professor. The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: pochira@rambler.ru.

*Ludmila A. Lobanova* - The Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: labanova.2006@mail.ru.

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

УДК 338.43(575.2)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-151-159>

Поступила в редакцию 15.02.2021

Received 15.02.2021

**С. Р. Семенов, Н. С. Семенов**

*Международный университет Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ОТНОШЕНИЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ СЕКТОРЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**Аннотация:** Сельскохозяйственный сектор Кыргызской Республики нуждается в решении ряда первоочередных мер, вызванных мировыми кризисными явлениями. Распространение пандемии COVID-19 повлияло на экономическое развитие страны, что отразилось на падении объемов экспорта и замедлении роста экономики. Совместное сотрудничество с государствами Евразийского экономического союза предполагает межгосударственное взаимодействие по регулированию общего сельскохозяйственного рынка, развитию международной интеграции и кооперации, что способствует выравниванию экономических рисков, сохранению и развитию собственного производства в сфере сельского хозяйства. Активизация процессов экономических и информационных отношений в сельском хозяйстве республики, развитие инновационной и инвестиционной деятельности, построение новых методов подхода к формированию экспортного потенциала отрасли, внутреннее и внешнее взаимодействия государственных органов страны с хозяйствующими субъектами агробизнеса, развитие рыночных отношений, является особенно актуальным. В статье представлены результаты методологического исследования и предложены практические рекомендации обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственного сектора, а также пути совершенствования новых юридических, экономических, управленческих решений. На основе построения системы отраслевых и статистических показателей выполнена оценка функционирования мукомольной промышленности, сектора производства продукции растениеводства и животноводства, исследовано направление продвижения экспортного потенциала и экспортных возможностей аграрной отрасли, оценен трудовой потенциал и его возможности в сфере развития пищевого производства и крестьянских (фермерских) хозяйств, дана оценка уровню инвестиций в экономику и сельскохозяйственную отрасль республики. Предложены рекомендации для текущей оценки сельскохозяйственного производства на уровне организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств с целью достижения более высоких результатов в области экономических и информационных отношений на основе государственного управления.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный сектор, экономическое сотрудничество, ЕАЭС, законодательные программы, стратегия, государственное регулирование, развитие, формирование, пищевая перерабатывающая промышленность, инновационная система, экспортный потенциал, информационные отношения

**Для цитирования:** Семенов, С. Р. Формирование экономических и информационных отношений в сельскохозяйственном секторе Кыргызской Республики / С. Р. Семенов, Н. С. Семенов // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, №2. – С. 151–159. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-151-159>

**Sergei R. Semenov, Nikolai S. Semenov**

*International University of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan*

## **FORMATION OF ECONOMIC AND INFORMATION RELATIONS IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE KYRGYZ REPUBLIC**

**Abstract:** The agricultural sector of the Kyrgyz Republic needs to address a number of priority measures caused by the global crisis. The COVID-19 pandemic affected the country's economic development, which was reflected in decrease in exports and a slowdown in economic growth. Joint cooperation with the states of the Eurasian Economic Union (EAEU) assumes interstate interaction to regulate the common agricultural market, develop international integration and cooperation, which helps to equalize economic risks, preserve and develop own production in the field of agriculture. Activation of economic and information relations processes in agriculture of the republic, development of innovation and investment activities, construction of new methods for approach to formation of the export potential of the industry, internal and external interaction of the state bodies of the country with the economic entities in agribusiness and development of market relations, is especially relevant. The paper presents the results of methodological study and offers practical recommendations for ensuring sustainable development of the agricultural sector, as well as ways to improve new legal, economic and management decisions. Based on building of system of sectoral and statistical indicators, an assessment of functioning was made for the flour-grinding industry, sector of crop and livestock products, direction of promoting the export potential and export opportu-

nities of the agricultural industry was studied, the labor potential and its possibilities in development of food production and peasant (farm) households, the assessment of investments level in the economy and agricultural sector of the republic has been given. Recommendations have been proposed for the current assessment of agricultural production at the level of organizations and peasant (farm) households, in order to achieve better results in the field of economic and information relations based on public administration.

**Keywords:** agricultural sector, economic cooperation, EAEU, legislative programs, strategy, state regulation, development, formation, food processing industry, innovation system, export potential, information relations

**For citation:** Semenov S. R., Semenov N. S. Formation of economic and information relations in the agricultural sector of the Kyrgyz Republic. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 151-159 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-151-159>

**Введение.** С развитием глобализации и интеграции общественных отношений экономика любой страны находится под влиянием экономических и политических процессов, которые происходят как в собственной стране, так и в мировом пространстве. В таких условиях экономический рост отдельных отраслей в экономики страны тесно связан с решением общих экономических вопросов, требующих всесторонней оценки. Необходимость рассмотрения отраслевого развития и анализа некоторых показателей в общей структуре экономического развития национальной экономики направлена на обеспечение стабильного развития страны. Оценка основных приоритетных направлений развития отрасли будет способствовать выработке основных направлений экономического роста национальной экономики, защите экономических интересов на национальном и международном уровнях. Сотрудничество с государствами Евразийского экономического союза (ЕАЭС), с правительствами зарубежных стран в рамках делового сотрудничества является удобным форматом эффективного развития международной интеграции, кооперации, что способствует формированию инвестиционной привлекательности отдельных отраслей, с развитием инвестиционных проектов будет обеспечена инвестиционная привлекательность всей экономики страны. В рамках евразийской интеграции возрастают возможности Кыргызской Республики противостоять мировым кризисным угрозам и вызовам пережить мировую пандемию COVID-19 и обеспечить рост производства продукции в аграрном секторе экономики. Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК) отмечает, что кризис, вызванный пандемией COVID-19, внес ряд изменений в мировую экономику, ускорил формирование нового научно-технологического и хозяйственного укладов. В этих условиях существенно возрастает роль государства в оперативной выработке стабилизационных мер<sup>1</sup>.

Сельскохозяйственный сектор Кыргызской Республики составляет значительную часть в общем объеме ВВП страны. Так, в 2020 г. объем отрасли составил 12,1 % от ВВП. Основные направления государственной системы управления в развитии страны на ближайшую перспективу нацелены на рост эффективности производства в сельском хозяйстве, в том числе и в перерабатывающей промышленности, что отмечено в программе «О Национальной стратегии развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы», где в сфере сельского хозяйства предусматривается обеспечение населения Кыргызской Республики качественным продовольствием и превращение отрасли в поставщика высококачественной экологически чистой, органической продукции на мировой и региональный рынки. Формирование единой государственной поддержки в крупные сельские предприятия, фермерские хозяйства и кооперативы, которые занимаются производством и переработкой сельхозпродукции, создаст высокую добавленную стоимость<sup>2</sup>. В «Стратегии устойчивого развития промышленности Кыргызской Республики на 2019–2023 годы» ставится приоритетное развитие пищевой промышленности и отмечено, что развитие отрасли предполагается путем кооперирования и кластеризации, поддержки специализации регионов на местной продукции с учетом экономической рациональности. Необходимо обеспечить повышение экспортного потенциала и улучшение качества продукции через модернизацию суще-

<sup>1</sup> Обзор ключевых мер и решений ЕЭК [Электронный ресурс] // Евразийская экономическая комиссия. Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/covid-19/Pages/measures.aspx> Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>2</sup> Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы [Электронный ресурс] // Министерство иностранных дел Кыргызской Республики. Режим доступа: <https://mfa.gov.kg/ru/osnovnoe-menyu/vneshnyaya-politika/gosudarstvennye-programmy/nacionalnaya-strategiya-razvitiya-kyrgyzskoy-respubliki-na-2018-2040-gody>. Дата доступа: 11.02.2021.



ствующих предприятий<sup>3</sup>. В настоящее время для обеспечения экономического развития сельскохозяйственного сектора Кыргызской Республики и тесного информационного взаимодействия с местными производителями сельскохозяйственной продукции необходимо решить ряд задач как на государственном, так и на местном уровне, чтобы создать благоприятные условия развития отрасли, такие как своевременное оказание государственной поддержке сельским товаропроизводителям, предоставление льготных кредитов фермерам, помощь в реализации и переработки сельхозпродукции, развитие информационных отношений и цифровизация отрасли, они являются первоочередными и способствуют развитию местного агробизнеса.

Цель работы – исследовать текущую ситуацию в сельскохозяйственной отрасли Кыргызской Республики и предложить пути формирования текущих путей развития отрасли на основе оценки экономического, правового анализа государственных органов. Предложить определенные направления развития экономических и информационных отношений в аграрном секторе на ближайшее время, которые способны снизить возможные экономические риски, связанные с распространением кризисных явлений и влияющие на экономическое развитие страны.

**Основная часть.** По развитию сельскохозяйственного сектора за последние годы государственными органами и Правительством Кыргызской Республики был подготовлен ряд программ и стратегий – Концепция развития сельскохозяйственной кооперативной системы в Кыргызской Республике на 2017–2021 годы – согласно ч. 7 устанавливает информационно-консультационную поддержку сельскохозяйственных кооперативов, в том числе разработку нормативно-правовых актов (НПА) по усилению правового поля, что позволит выработать оптимальные условия финансово-кредитной политики, применить элементы кооперативного управления<sup>4</sup>; Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы – согласно п. 8.2 предполагает сформировать 7 логистических центров в агропромышленном секторе к 2023 г., которые будут соответствовать международным стандартам с коммуникацией в интернет-среде<sup>5</sup>; Национальная стратегия устойчивого развития на 2013–2017 годы – одним из приоритетов развития страны обозначила сельское хозяйство, где п.10.1 закрепляется обязательная информационная поддержка сельскохозяйственных производителей в области ценовой политики<sup>6</sup>. Была проведена работа по созданию сети учебно-методических центров для хозяйствующих субъектов сельскохозяйственной отрасли с привлечением информационных ресурсов государственных органов; План Правительства Кыргызской Республики по развитию экспорта на 2015–2017 годы, где ч. 1 и 3 устанавливается необходимость информационного обеспечения доступа к торговой информации страны для осуществления торговых операций, в том числе в области сельского хозяйства<sup>7</sup>; Приоритеты сохранения биологического разнообразия Кыргызской Республики на период до 2024 года<sup>8</sup>, Программа развития ирригации Кыргызской Республики на 2017–2026 годы,

<sup>3</sup> Стратегия устойчивого развития промышленности Кыргызской Республики на 2019–2023 годы [Электронный ресурс] : утверждена постановлением Правительства Кыргыз. Респ. от 27 сент. 2019 г. №502 // Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/157190>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>4</sup> Концепция развития сельскохозяйственной кооперативной системы в Кыргызской Республике на 2017–2021 годы [Электронный ресурс] : утверждена постановлением Правительства Кыргыз. Респ. от 21 апр. 2017 г. №237 // Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/99948>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>5</sup> Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы [Электронный ресурс] // Министерство иностранных дел Кыргызской Республики. Режим доступа: <https://mfa.gov.kg/ru/osnovnoe-menyu/vneshnyaya-politika/gosudarstvennye-programmy/nacionalnaya-strategiya-razvitiya-kyrgyzskoy-respubliki-na-2018-2040-gody>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>6</sup> Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013–2017 годы [Электронный ресурс] : утверждена Указом Президента Кыргыз. Респ. от 21 янв. 2013 г. №11 // Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/61542>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>7</sup> О плане Правительства Кыргызской Республики по развитию экспорта Кыргызской Республики на 2015–2017 годы [Электронный ресурс] : постановление Правительства Кыргызской Республики, 31 марта 2015 г., №174 // Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/97426?cl=ru-ru#p1>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>8</sup> Приоритеты сохранения биологического разнообразия Кыргызской Республики на период до 2024 года [Электронный ресурс] : утверждено постановлением Правительства Кыргыз. Респ. от 17 марта 2014 г. №131 //

где в ч. 3 предполагается осуществить создание сельскохозяйственных кооператив на орошаемых землях с созданием новых рабочих мест, укрепить приграничные территории, усилить экономические выгоды и т.д.<sup>9</sup>; приоритетными направлениями были выбраны молочная, мясная, плодоовощная, швейная отрасли, сектор бутилированной воды, данный план в области экспорта кардинально ситуацию не изменил. Ряд последних политических кризисов в стране, мировая волна распространения пандемии COVID-19 – все эти явления негативно отражаются на государственном управлении, что вносит дополнительные корректировки в экономическое развитие страны. По прогнозам специалистов-аналитиков, ВВП страны в 2021 г. в связи с потрясениями в основных секторах экономики будет сокращаться до 10 %. Данные стратегии и программы в настоящее время не в полном объеме решают задачи, направленные на подъем пищевой перерабатывающей промышленности, так как в настоящее время сама инфраструктура и техническая база перерабатывающей промышленности Кыргызской Республики, а также система хранения, логистики и сбыта не отвечают современным требованиям, что приводит к снижению качества и норм безопасности, предъявляемых к сельскохозяйственной продукции. Проблемы отечественного производства продовольствия в первую очередь необходимо решать через обновление производственных мощностей, применение современных инновационных и multifunctional технологий, привлечение дополнительных финансовых ресурсов, соответственно, нерешение данных вопросов сегодня приведет к удорожанию и потерям товарной продукции. Национальная инновационная система Кыргызской Республики находится на ранних стадиях развития, и многие ее базовые составляющие отсутствуют либо пребывают на начальном этапе формирования, поэтому сотрудничество с государствами ЕАЭС дает возможность Кыргызской Республики выработать совместные инструменты, направленные на поддержку инновационных проектов, реализуемых при участии партнеров из разных стран<sup>10</sup>. Развитие сельскохозяйственной отрасли КР должно стать приоритетным направлением с необходимостью новых инновационных подходов к системе модернизации и расширения предприятий по производству промышленной переработки сельхозпродукции, необходимо учесть направления и формирования отношений по развитию кооперации с предприятиями государств ЕАЭС.

Основными направлениями промышленного сотрудничества в рамках ЕАЭС предусмотрены перспектива развития, исходящая из:

- 1) целесообразности углубления промышленной кооперации в целях стимулирования роста промышленного производства и выпуска совместно произведенной продукции;
- 2) необходимости противодействия негативным тенденциям в мировой экономике в целях ускорения и повышения устойчивости промышленного развития государств ЕАЭС;
- 3) потенциала эффективного и взаимовыгодного сотрудничества для преодоления существующих барьеров, повышения конкурентоспособности и инновационной активности, наращивания промышленной кооперации, реализации совместных инвестиционных проектов и действий по развитию экспорта;
- 4) ускорения перехода к согласованной, а в перспективе и к единой промышленной политике в рамках ЕАЭС [1], государственным органам КР необходимо сформировать, пересмотреть и дополнить определенные пути развития для отраслевых экономик, в том числе для агробизнеса.

Некоторые перспективные направления в развитии сельскохозяйственной отрасли остаются актуальными. В настоящее время ЕЭК рассматривает проект о создании оптово-распределительных центров, где центры представляют комплекс зданий, строений и сооружений, предназначенных для хранения, подработки, первичной переработки, приема, упаковки и реализации

Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/96264?cl=ru-ru#p1>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>9</sup> Об утверждении Государственной программы развития ирригации Кыргызской Республики на 2017–2026 годы: постановление Правительства Кыргыз. Респ., 21 июля 2017 г., № 440 // Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики / М-во юстиции Кыргыз. Респ. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/100162?cl=ru-ru>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>10</sup> Инновации для устойчивого развития: обзор по Кыргызской Республике / Европ. экон. комис., Орг. Объед. Наций. Женева: ООН, 2019. С. 50; Материалы Евразийской экономической комиссии [Электронный ресурс] // Евразийская экономическая комиссия. Режим доступа: [http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom\\_i\\_agroprom/dep\\_agroprom/actions/Pages/default.aspx](http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/actions/Pages/default.aspx). Дата доступа: 11.02.2021.



сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, а также для ветеринарного и фито-санитарного контроля с использованием автоматизированных электронных информационных и расчетных систем, включающих в себя внутренние и наружные сети инженерно-технического обеспечения. Эффект от создания таких центров позволит выстроить транспарентную транспортно-логистическую цепь, нарастить объемы складских мощностей и снизить издержки, создать системы управления товарно-материальными потоками<sup>11</sup>. В настоящее время в Кыргызской Республике существует 217 хранилищ, в том числе по областям: Чуйской – 108, Иссык-Кульской – 38, Нарынской – 4, Таласской – 12, Ошской – 14, Баткенской – 26, Джалал-Абадской – 15, но они не имеют современного оборудования и нужную логистику. Создание оптово-распределительных центров с применением современных технологий, отвечающих международным стандартам, способно решить большую часть имеющихся проблем в отрасли. Данное направление в создании оптово-распределительных центров имеет связь с другими, не менее важными направлениями, это должно помочь и в решении вопросов о неучтенной продукции и контрабандном ввозе из/на территорию Кыргызской Республики. Так, в настоящее время мукомольная промышленность Кыргызской Республики переживает падение: в 2014 г. было 65 мукомольных комбинатов; 2015 г. – 61; 2016 г. – 54; 2017 г. – 48; 2018 г. – 36; 2019 г. – 32; 2020 г. – 30<sup>12</sup>. Это связано с тем, что после открытия границ увеличились потоки неучтенной муки, поступающей из Республики Казахстан, где отечественные переработчики не выдержали демпинга контрабандной муки.

Так, сегодня из 30 мукомольных комбинатов работают 8, из них 6 на севере и 2 на юге страны, остальные простаивают. Основной причиной остановки комбинатов является неучтенный (без оплаты налогов) ввоз муки на территорию Кыргызской Республики, тогда как мукомольные предприятия при импорте зерна, переработке и реализации муки оплачивают НДС, НСП и другие обязательные отчисления в бюджет. В общей сложности потеряно более 5 тыс. рабочих мест. С 2016 г. более 65 % муки на рынок Кыргызской Республики ввозится неофициально, вследствие чего часть мелькомбинатов обанкротилась и закрылась, а некоторые предприятия перенесли свое производство в Республику Казахстан. За пять лет наблюдается значительное снижение объемов производства муки в Кыргызской Республики: в 2014 г. – 350,6 тыс. т; 2015 г. – 273,0; 2016 г. – 233,2; 2017 г. – 259,2; 2018 г. – 188,5; 2019 г. – 162,6; 2020 г. – 151,9 тыс. т, т.е. объем снизился на 57 %<sup>13</sup>.

В связи с нестабильной работой переработчиков в Кыргызской Республике на 120 тыс. га сократились посевные площади пшеницы, так как крестьянам некуда сдавать зерно на переработку, как следствие, большинство сельхозпроизводителей, сеявших пшеницу, перешли на другие культуры, а мукомольные предприятия полностью стали зависимы от импорта сырья. Официальный импорт зерна снижается, хотя потребление муки в Кыргызской Республике увеличивается. Импорт зерна с 2014 по 2020 г. сократился на 63 %: в 2014 г. – 402,0 тыс. т; 2015 г. – 333,2; 2016 г. – 296,8; 2017 г. – 240,5; 2018 г. – 147,0; 2019 г. – 156,6; 2020 г. – 149,4 тыс. т. Модернизация, загруженность сырьем, совместная кооперация действующих перерабатывающих предприятий сельскохозяйственной отрасли с другими странами продвигается медленно, в результате образовалась зависимость сельскохозяйственной отрасли от внешних поставщиков.

В последние годы в пищевую перерабатывающую промышленность Кыргызской Республики привлекались ограниченные инвестиционные ресурсы, как следствие, объем капитальных вложений по всем источникам финансирования значительно снизился, это отразилось на инфраструктуре пищевой промышленности, а впоследствии и на отечественной продукции, так как имеются трудности в конкуренции с импортными аналогами. ЕЭК, по результатам вступления

<sup>11</sup> Данные Ассоциации Мукомольных Предприятий Кыргызской Республики [Электронный ресурс] // Ассоциация Мукомольных Предприятий Кыргызской Республики. Режим доступа: <https://fr-fr.facebook.com/amp.kg/photos/a.110880240584278/110887477250221/?type=3&theater>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>12</sup> Данные Ассоциации Мукомольных Предприятий Кыргызской Республики [Электронный ресурс] // Ассоциация Мукомольных Предприятий Кыргызской Республики. Режим доступа: <https://fr-fr.facebook.com/amp.kg/photos/a.110880240584278/110887520583550/?type=3&theater>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>13</sup> Инвестиции в Кыргызской Республике, 2015–2019 гг. : стат. сб. / Нац. стат. ком. Кыргыз. Респ. Бишкек : Нац. стат. ком. Кыргыз. Респ., 2020. 224 с.

Кыргызской Республики в ЕАЭС было отмечено, что процессы модернизации и инновационного развития в Кыргызской Республики характеризуются низкой интенсивностью вследствие отсутствия стабильного финансирования, дефицита квалифицированной рабочей силы и компетенций. Уровень внедрения инноваций предприятиями республики остался низким и является недостаточным для обеспечения стабильного экономического роста. В республике фактически отсутствует система поддержки и коммерциализации инноваций. Основная доля инвестиций в экономику Кыргызской Республики приходится на объемы поступления прямых иностранных инвестиций (без учета оттока). Так, за 2019 г. они составили 1 млрд долларов, увеличившись по сравнению с 2018 г. на 26,4 %, а по сравнению с 2015 г. их объем снизился почти на треть. Основными странами-инвесторами в 2019 г. были: Китай – 31,4 % в общем объеме поступивших инвестиций, Канада – 24,1, Швейцария – 9,6, Турция – 8,8, Великобритания – 6,8, Нидерланды – 5,7 %<sup>14</sup>. В 2019 г. объемы поступления прямых иностранных инвестиций из стран СНГ по сравнению с 2018 г. сократились в 2 раза, за счет их снижения из России – в 3,3 раза. В 2019 г. по сравнению с 2018 г. объем инвестиций в сельское хозяйство Кыргызской Республики снизился и составил 1,5 % от объема ВВП. Все это определяет необходимость скорейшей разработки прогрессивной системы инновационного обеспечения отрасли, формирования планов модернизации

**Т а б л и ц а 1. Прогноз потребностей переработанных фруктов и овощей в Кыргызской Республике, 2019–2022 гг., тыс. т**

**Table 1. Prediction of needs in processed fruits and vegetables, 2019–2022, thousand tons**

Страна	Годы			
	2019	2020	2021	2022
Великобритания	2,583.4	2,592.5	2,606.1	2,621.1
Китай	1,593.9	1,722.5	1,849.0	1,970.7
Германия	1,932.0	1,934.3	1,934.6	1,933.1
Франция	1,433.6	1,432.4	1,432.4	1,432.3
Россия	1,095.2	1,123.4	1,156.9	1,194.3
Саудовская Аравия	282.9	294.4	307.3	321.1

Источник: Agriculture [Electronic resource] // Euromonitor International. Mode of access: <https://www.euromonitor.com/agriculture>. Date of access: 11.02.2021.

**Т а б л и ц а 2. Производственные показатели в растениеводстве Кыргызской Республики, тыс. т**

**Table 2. Production indicators in crop science of Kyrgyz Republic, thousand tons**

Производство	Годы			
	2016	2017	2018	2019
Зерновые (в весе после доработки)	1861	1823	1889	1931
Свекла сахарная	705	712	773	741
Картофель	1388	1416	1446	1373
Овощи	1069	1087	1094	1113
Плоды и ягоды	239	241	251	269

Источник: Агропромышленный комплекс. Статистика Евразийского экономического союза: стат. сб. / Евраз. экон. комис. М.: ЕЭК, 2020. 147 с.

отечественных предприятий пищевой промышленности и внесения изменений в стратегию развития сельскохозяйственной отрасли.

На сегодня возможности инвестирования в пищевую перерабатывающую промышленность должны быть ориентированы на переработку собственной продукции садоводства и растениеводства, в том числе продукции с учетом экспортных возможностей, таких как: малина, клубника, абрикос, орехи, сухофрукты, лекарственные травы, продукция тепличного хозяйства, пчеловодство. Данная продукция должна быть ориентирована на потенциальных покупателей в странах ЕАЭС и Европы, где Кыргызская Республика имеет преференциальный статус ВСП+, что способствует позитивным изменениям во внешнеэкономических отношениях, создающих возможности для развития конкурентоспособности отечественных сельхозпроизводителей [2, с. 201] (табл. 1).

По производственным показателям развития растениеводства в Кыргызской Республике за последние четыре года наблюдается динамика увеличения валового сбора по продукции, имеющей возможность промышленной переработки, что способствует повышению экспортного потенциала (табл. 2).

Развитие мясного скотоводства входит в число приоритетов аграрной политики Кыргызской Республики, так как решить проблему дефицита высококачественной говядины без мясного скотоводства практически невозможно. Специализированное мясное ското-

<sup>14</sup> О ходе выполнения мероприятий Программы совершенствования и развития государственной статистики Кыргызской Республики на 2015–2019 годы / Нац. стат. ком. Кыргыз. Респ. Бишкек : [б. и.], 2019. 25 с.

водство позволяет эффективно использовать земли в малонаселенных районах, где развитие других отраслей ограничивается недостатком рабочей силы и другими социально-экономическими факторами, связанными с малой плотностью населения. В развитии скотоводства за последние годы можно отметить только увеличение поголовья крупного рогатого скота, в том числе коров. Общая численность крупного рогатого скота на 1 января 2020 г. составила 1680,7 тыс. гол., в том числе 7835 тыс. гол. коров. В 2019 г. рост поголовья крупного рогатого скота составил 3,3 %, лошадей и птицы – 5,0 % по сравнению с 2018 г., поэтому производство продукции животноводства возросло (табл. 3).

Имеющееся поголовье – это огромный потенциал для увеличения мясной продуктивности крупного рогатого скота и развития пищевой, перерабатывающей промышленности. В 2020 г. в связи с распространением COVID-19 показатели по мясному сектору снизились, это было связано с ростом доллара и цен на корм для скота, что привело к тенденции продажи за рубеж, забоя скота, поэтому Правительством Кыргызской Республики с ноября 2020 г. был введен запрет на вывоз скота сроком на 6 месяцев. Общий количественный потенциал участников предпринимательской деятельности в сфере сельского хозяйства отражается в Едином государственном регистре статических единиц, который является автоматизированным банком данных всех хозяйствующих субъектов Кыргызской Республики, в том числе юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, крестьянских (фермерских) хозяйств. В 2019 г. в базу данных Единого государственного регистра статических единиц включено 880,5 тыс. субъектов, из них 127,6 тыс. – юридические лица, 332,6 тыс. – крестьянские фермерские хозяйства без образования юридического лица, 401,7 тыс. – индивидуальные предприниматели<sup>15</sup>. На 1 января 2020 г. в Реестре организаций и лиц Кыргызской Республики, осуществляющих производство, переработку и (или) хранение подконтрольных товаров, перемещающихся по территории государств – членов ЕАЭС, зарегистрировано всего 49 предприятий<sup>16</sup>, в том числе по сбору и реализации меда – 16, по производству и переработке рыбы – 12, по производству молочной продукции – 15, по производству мясных продуктов, прошедших термическую обработку, – 5, национальных молочных продуктов – 1.

При наличии значительного количества крестьянских фермерских хозяйств общий потенциал перерабатывающих предприятий имеет возможность развиваться, а расширение сектора перерабатываемых продуктов будет возможен в связи с ростом числа платежеспособных потребителей продуктов питания, что может оказать положительное влияние на создание новых и дополнительных рабочих мест. Данный потенциал рабочей силы способен обеспечить внутреннюю переработку сельскохозяйственной продукции и создать большую внутреннюю добавленную стоимость, что в дальнейшем отразится на росте ВВП.

Рост перерабатывающих предприятий, развитие специализированных навыков участников крестьянских (фермерских) хозяйств не возможны без правильного государственного управления отраслью, а развитие информационных отношений государственных органов с крестьянскими

Т а б л и ц а 3. Производственные показатели в животноводстве Кыргызской Республики, 2016–2019 гг., тыс. т

Table 3. Production indicators in animal breeding of Kyrgyz Republic, 2016–2019, thousand tons

Производство	Годы			
	2016	2017	2018	2019
Говядина и телятина	102,7	103,6	108,6	111,5
Баранина и козлятина	62,0	63,9	63,2	66,3
Свинина	16,4	16,4	16,9	14,1
Конина	23,1	24,8	23,7	24,6
Мясо птицы	7,9	7,6	8,6	9,5
Мясо кролика	0,3	0,3	0,3	0,2
Мясо (в убойном весе)	212,4	216,6	221,3	226,2

Сельское хозяйство Кыргызской Республики, 2015–2019: стат. сб. / Нац. стат. ком. Кыргыз. Респ. Бишкек: Нац. стат. ком. Кыргыз. Респ, 2020. 99 с.

<sup>15</sup> Реестр организаций и лиц Кыргызской Республики, осуществляющих производство, переработку и (или) хранение подконтрольных товаров, перемещающихся по территории государств-членов ЕАЭС // Министерство экономики и финансов Кыргызской Республики. Режим доступа: <http://mineconom.gov.kg/storage/directs/documents/126/15396856665bc5bd22cd6cf.pdf>. Дата доступа: 11.02.2021.

<sup>16</sup> Реестр организаций и лиц Кыргызской Республики, осуществляющих производство, переработку и (или) хранение подконтрольных товаров, перемещающихся по территории государств-членов ЕАЭС / М-во экономики Кыргызской Республики. Бишкек, 2020. 5 с.

(фермерскими) хозяйствами способно устранить информационную асимметричность и предоставить объективную, качественную информацию для роста производства и переработки продукции. Применение современных информационно-программных разработок и общих систем коммуникации в создании интегрированных информационных систем позволяет обеспечить быстрый сбор и размещение информации в базах данных, а также оперативно проводить расчеты в различных интеграционных ресурсах и системах [3, с. 59]. Создание механизма инновационного развития перерабатывающих отраслей из оценки опыта Беларуси, Казахстана, России, где внедрен качественно новый подход в развитии инновационной составляющей аграрного сектора, в том числе в пищевой промышленности [4, 5], способно решить проблемы информационного разрыва между фермерскими хозяйствами и государственными органами и ведомствами, развитие информационных отношений в связи с пандемией COVID-19 также формирует новые направления информационной структуры отрасли. Возникает необходимость предоставления финансовой и нефинансовой помощи сельским товаропроизводителям для быстрого развития процедуры удаленного режима работы, обучения и создания информационной платформы для бесплатного и быстрого доступа к обмену информации с привлечением для сотрудничества специализированных технологических компаний, местных операторов связи. На сегодня такие мировые компании, как Amazon Web, Services, Cisco, Dropbox, Google, имеют возможность помогать в решении вопросов, связанных с пандемией COVID-19, предоставляют временный бесплатный доступ к некоторым своим инструментам связи и обмена для других компаний и пользователей. Создание платформы для автономного сельскохозяйственного оборудования и удаленный обмен информационных процессов между участниками должны стать нормой для отрасли, так как данные направления развития информационных отношений способны обеспечить большую точность при полевых работах, снизить потери урожая, развить сектор электронной торговли, тем самым создать информационную связь между крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и переработчиками продукции. В Кыргызской Республике на национальном уровне идет реализация программы цифровой трансформации «Таза Коом», которая должна помочь войти Кыргызской Республике в цифровую инфраструктуру мирового класса. В связи с мировыми кризисными явлениями существует необходимость сформировать новые информационные отношения в разработке навыков обработки информации с вновь возникшими экономическими и социальными требованиями. Это позволит сократить информационный разрыв между поставщиками и потребителями сельскохозяйственной продукции, поможет улучшить информационные отношения за счет привлечения специализированных компаний и обучения представителей сельскохозяйственной переработки продукции, крестьянских (фермерских) хозяйств для получения коммуникативных навыков в области обработки и производства данных в системах удаленного доступа.

**Заключение.** Система формирования и обеспечения сельскохозяйственного производства необходимыми ресурсами имеет свою актуальность. В развитых странах между отраслями экономики в пользу сельского хозяйства идет перераспределение доходов ввиду нерентабельности отрасли, к сожалению, сегодня отечественное сельское хозяйство Кыргызской Республики такого положения не имеет. Государственная поддержка отрасли имеется, но не в достаточной мере, также не учитывается тот факт, что для конкурентного преимущества отрасли необходимо стабильное инвестирование, выделение финансовых ресурсов на информационно-техническое развитие. Изучение и применение опыта соседних стран (России, Беларуси, Казахстана) в области развития аграрной отрасли должны иметь перспективы применения в выработке государственных стратегий. Инновационная составляющая отрасли должна стать обязательной в связи с развитием мировых тенденций на продовольственном рынке, где рост мировых цен на продовольствие опережает рост цен на промышленные товары, мировое производство продуктов питания в ближайшее время будет только расти, а подъем уровня развития отрасли полностью сегодня зависит от построении новых экономических и информационных отношений. Поступление и обработка большого количества данных может оказать существенное влияние на развитие информационных отношений, что существенно влияет на управление крестьянских (фермерских) хозяйств, соответственно, развитие информационных отношений в отрасли будет снижать цифровой разрыв в экономике страны.



### Список использованных источников

1. Основные направления промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза / Евраз. экон. союз. – М. : [б. и.], 2015. – 174 с.
2. Семенов, С.Р. Внешнеэкономические пути развития аграрной отрасли Кыргызской Республики / С.Р. Семенов // Российские предприниматели – благотворители и меценаты : сб. материалов III Всерос. Мороз. чтений / Гос. гуманитар.-технол. ун-т. – Орехово-Зуево, 2020. – С. 198–203.
3. Семенов, С.Р. Аграрная политика и интегрированное информационное обеспечение в сельскохозяйственной отрасли / С.Р. Семенов // Theoretical & Appl. Science. – 2018. – № 12 (68). – С. 57–60. <https://doi.org/10.15863/TAS.2018.12.68.11>
4. Инвестиционный механизм инновационного развития перерабатывающих отраслей АПК / С.Ю. Маркин [и др.]. – Ростов н/Д : ГНУ ВНИИЭиН Россельхозакадемии, 2012. – 147 с.
5. Ефименко, А.Г. Инновационное развитие организаций перерабатывающей и пищевой промышленности / А.Г. Ефименко. – Могилев : МГУП, 2017. – 191 с.

### References

1. *The main directions of industrial cooperation within the Eurasian Economic Union*. Moscow, 2015. 174 p. (in Russian).
2. Semenov S.R. Foreign economic ways of development of the agricultural sector of the Kyrgyz Republic. *Rossiiskie predprinimateli - blagotvoriteli i metsenaty: sbornik materialov III Vserossiiskikh Morozovskikh chtenii* [Russian entrepreneurs - philanthropists and patrons: collection of papers of the 3rd all-Russian Morozov readings]. Orekhovo-Zuevo, 2020, pp. 198-203 (in Russian).
3. Semenov S.R. Agrarian policy and integrated information security in the agricultural industry. *Theoretical & Applied Science*, 2018, no. 12 (68), pp. 57-60 (in Russian). <https://doi.org/10.15863/TAS.2018.12.68.11>
4. Markin S. Yu., Soldatova I. Yu., Antonova N. I., Bakhmatova G. A., Krasnokutskii P. A., Markina E. D., Pakhomov A. P., Alibekova B. Sh., Pakhomova A. A., Butenko A. V. *Investment mechanism for innovative development of processing industries of the agro-industrial complex*. Rostov-on-Don, All-Russian Research Institute of Economics and Standards, 2012. 147 p. (in Russian).
5. Efimenko A.G. *Innovative development of processing and food industry organizations*. Mogilev, Mogilev State University of Food Technologies Mogilev State University of Food, 2017. 191 p. (in Russian).

### Информация об авторах

Семенов Сергей Рудольфович – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры международного бизнеса, Международный университет Кыргызской Республики (пр. Чуй, 255, 720001 Бишкек, Кыргызская Республика). E-mail: [ssr2002@list.ru](mailto:ssr2002@list.ru). <http://orcid.org/0000-0001-7871-6541>

Семенов Николай Сергеевич – кандидат юридических наук, старший преподаватель кафедры международного, предпринимательского права и политологии, Международный университет Кыргызской Республики (пр. Чуй, 255, 720001 Бишкек, Кыргызская Республика). E-mail: [frindland@mail.ru](mailto:frindland@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0001-5183-7482>

### Information about the authors

Sergei R. Semenov - Ph. D. (Economics). International University of Kyrgyz Republic (255, Chui Ave., Bishkek 720001, Kyrgyz Republic). E-mail: [ssr2002@list.ru](mailto:ssr2002@list.ru). <http://orcid.org/0000-0001-7871-6541>

Nikolai S. Semenov - Ph. D. (Law). International University of Kyrgyz Republic (255, Chui Ave., Bishkek 720001, Kyrgyz Republic). E-mail: [frindland@mail.ru](mailto:frindland@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0001-5183-7482>

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

УДК 631.158:658.35(476)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-160-177>

Поступила в редакцию 29.12.2021

Received 29.12.2021

**О. А. Пашкевич**

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

## **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАНЯТОСТЬЮ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Аннотация:** Стремительный информационно-технологический прогресс приводит к усилению конкуренции как внутри стран, так и между ними. Это актуализирует способность персонала функционировать в условиях рынка, а также осваивать новые и перспективные. Во всем мире за последние годы процессы управления занятостью трудовых ресурсов приобретают принципиально новое значение в плане достижения конкурентоспособности как отдельных организаций, так и стран в целом. В связи с этим экономические преобразования обусловили необходимость изучения новых процессов в сфере занятости населения, формирования и регулирования рынка труда, использования трудовых ресурсов в сфере производства. В статье изложены современные тенденции формирования трудового потенциала сельского хозяйства, результаты анализа кадровой ситуации в аграрном секторе Беларуси. Систематизированы факторы, определяющие трансформацию форм организации труда и занятости в экономике и в сельском хозяйстве. Приведены результаты рейтинга отраслей экономики по степени привлекательности занятости в них. Систематизирован инструментарий профессиональной идентификации при выборе будущей сферы трудоустройства. Обоснованы концептуальные предложения эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в сельском хозяйстве, уточнены формы реализации управленческих воздействий на развитие отрасли, занятость и сельские территории. Особо подчеркнута общественная значимость сельскохозяйственного труда и необходимость повышения его престижа. Результаты исследования могут быть использованы при разработке предложений, обосновании концепций, программных и других документов по проблемам укрепления трудового потенциала АПК, усилении мотивации труда работников аграрной сферы, росту производительности труда в сельскохозяйственных организациях. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГНТП «Агропромкомплекс – 2020», подпрограмма «Агропромкомплекс – эффективность и качество» (№ ГР 20193037).

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, сельские территории, агрогородок, рынок труда, трудовые ресурсы, занятость, фактор, эффективность, информационные и коммуникационные технологии, мотивация труда, профессиональная ориентация, престиж, профессия

**Для цитирования:** Пашкевич, О. А. Концептуальные направления эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в сельском хозяйстве / О. А. Пашкевич // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 160–177. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-160-177>

**Volha A. Pashkevich**

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

## **CONCEPTUAL DIRECTIONS OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF LABOUR RESOURCES EMPLOYMENT IN AGRICULTURE**

**Abstract:** Rapid information technology progress leads to increased competition both within countries and between them. This actualizes the ability of personnel to function in market conditions, as well as to master new and promising ones. All over the world, in recent years, the processes of management of labour resources employment have acquired a fundamentally new meaning in terms of achieving competitiveness of both individual organizations and countries as a whole. In this regard, economic transformations made it necessary to study new processes in the sphere of population employment, formation and regulation of the labour market, and use of labour resources in production field. The paper describes the current trends in formation of the labour potential in agriculture, results of the personnel situation analysis in the agricultural sector of Belarus. The factors determining transformation of the forms of labour organization and employment in the economy and agriculture have been systematized. The results of ranking of economic sectors by the degree of attractiveness of employment in them are presented. The toolkit for professional identification for choosing future area of employment has been systematized. Conceptual proposals for efficient management of labour resources employment in agriculture have been substantiated; the forms of implementation of management influences on the development of the industry, employment and rural areas have been clarified. The social significance of agricultural labour and the need to increase its prestige were especially emphasized. The



research results can be used in development of proposals, substantiation of concepts, program and other documents in terms of problems of strengthening the labour potential of the agro-industrial complex, enhancing the labour motivation of workers in the agricultural sector, and increasing labour productivity in agricultural organizations. **Acknowledgments.** The research was carried out as part of the SRTP “Agropromkompleks - 2020”, subprogram “Agropromkompleks - efficiency and quality” (No. ГР 20193037).

**Keywords:** agriculture, rural areas, agro-town, labor market, labor resources, employment, factor, efficiency, information and communication technologies, labor motivation, vocational guidance, prestige, profession

**For citation:** Pashkevich V. A. Conceptual directions of effective management of labour resources employment in agriculture. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 160-177 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-160-177>

**Введение.** Активное развитие информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) начиная с 1950-х годов способствовало становлению информационной экономики, появлению новых видов информационно-интенсивного труда, рабочих мест, предприятий, отраслей [1–3]. Знания и информация (в отличие от труда и капитала) начинают выступать активным ресурсом экономики в силу обладания мобильностью и динамичностью. Труд становится высокотехнологичным, происходит его интеллектуализация и возрастает его творческий характер. Это свидетельствует о трансформациях в социально-трудовой сфере и отражается на формах организации труда и занятости. Интенсивное развитие ИКТ изменяет требования к образовательным, профессиональным компетенциям, а это, в свою очередь, усиливает значение качественных характеристик работников.

Несмотря на тот факт, что информационное общество формируется локально и в разных странах, этот процесс происходит с разной интенсивностью, тенденция информатизации свойственна как для развитых, так и развивающихся стран. Исследования показывают, что ИКТ используются в различных контекстах, кроме того, существуют и многочисленные подходы для измерения количественных и качественных аспектов их влияния на деятельность отраслей и предприятий, особенно на динамику рабочих мест.

Проведенные исследования свидетельствуют об исчезновении ряда рабочих мест ввиду их автоматизации, роботизации или замены ИКТ [3–7]. В свою очередь, в сельском хозяйстве, по исследованиям экспертов [8], применение робототехники приводит к сокращению занятости на монотонных и повторяющихся процессах, снижению их трудоемкости. Однако обслуживание робототехники и других цифровых технологий ведет к появлению новых рабочих мест, которые требуют дистанционной координации. В этой связи дальнейшее изменение структуры занятости будет зависеть от того, как и в какой степени будет возможно заменить труд технологиями (цифровые, интеллектуальные, роботизированные, смешанные) и какие новые виды замещения труда могут возникнуть.

Таким образом, становление информационной экономики ведет к преобразованиям в социально-экономических и трудовых отношениях, росту числа работников, занятых в информационном секторе экономики, где информация выступает как ресурс производства и управления. Это потребует прогнозирования структуры занятости с позиций изменения ее содержания, профессионально-квалификационных характеристик работников, характера труда с целью выработки особых механизмов и инструментов ее регулирования.

Изучение данной проблемы находится в сфере научных интересов ряда отечественных и зарубежных ученых, экспертов, аналитиков и практиков.

Так, ряд ученых сосредоточили свои исследования на выявлении факторов становления информационной экономики и оценке степени влияния на рынок труда, в том числе и аграрный, среди них А. В. Семин, Е. А. Скворцов, Е. Г. Скворцова [8], М. Д. Алиев [9], А. М. Колот, О. А. Герасименко [10], Е. Попкова, А. Боговиз [11], А. Боговиз, И. Санду, М. Дудин, Н. Лясников [12], Е. Садовая [13].

Другие авторы – В. В. Аранжин [14], А. А. Бажина [15], Е. В. Ванкевич, О. В. Зайцева [16], В. И. Кострица, Т. В. Бурлай [17] – подчеркивают в своих исследованиях становление новых форм занятости трудовых ресурсов и новых инструментов регулирования социально-трудовых отношений.

Кроме того, в зарубежной научной литературе активно исследуются вопросы технологической безработицы как следствия активного внедрения ИКТ, предлагаются решения по нейтрализации ее негативных последствий, в частности, в трудах J.J. Hughes [6], Y.J. Kim, K. Kim, S. Lee [7], N. Pashkevich, V. Pashkevich, D.M. Haftor [3, 4], N.-E. Pavisou, P.V. Tsaliki, I.N. Vardalachakis [5], P. Van Parijs [18].

Роли кадрового потенциала в развитии аграрной отрасли, а также вопросам его мотивации к высокопроизводительному труду уделено внимание следующих ученых – В. Г. Гусакова, А. П. Шпака [19], В. Г. Гусакова [20], А. В. Микулича [21], Н. А. Старовойтовой [22], А. О. Борисенко [23].

Факторы миграции сельской молодежи подчеркивают в научных трудах Т. С. Балакирева [24], Е. А. Лаврухина [25], Е. В. Дробот, И. Н. Макаров, О. В. Журавлева, А. М. Нерсисян [26], И. Ушачев, В. Еремеев, Н. Жуков [27]. Как следствие, влияния вышеназванных факторов – формирование профессиональных и квалификационных диспропорций на рынке труда – акцентируют В. В. Близнюк, Я. И. Юрик [28], Н. Н. Гунько, О. А. Динукова, В. Я. Вишневер [29], Н. Г. Трапьянок, Е. В. Дубежинский, Е. И. Вильдфлуш [30].

Аспекты престижа профессий, факторы мотивации молодежи при выборе будущей сферы трудоустройства находятся в сфере научных интересов А. П. Бафанова [31], Л. И. Дмитриевой, А. А. Борисовой [32], В. В. Кафидова [33], И. В. Цыганковой, В. Ф. Потуданской, Я. Цзывэя [34], В. Ф. Черноволенко, В. Л. Оссовского, В. И. Паниотто [35], Ю. Н. Шумакова, М. П. Тушканова [36], Ю. Н. Никулиной [37]. Социально-трудовые вопросы предложено решать в рамках концепции создания общих ценностей, что подчеркивается Е. Е. Жерновым, Е. В. Нехода, Н. А. Редчиковой [38], Л. Н. Мельниковой [39].

Многоаспектный характер исследования вопросов социально-трудовой сферы в условиях информатизации порождает проблему определения и систематизации теоретических и практических подходов к анализу процессов, происходящих на рынке аграрной рабочей силы и сельских территориях. В этой связи целью настоящей статьи является обоснование концептуальных направлений эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в сельском хозяйстве с учетом новых условий и факторов, влияющих на данный процесс. Концептуальные направления эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в АПК ориентированы на обеспечение высококвалифицированными работниками сельскохозяйственных организаций, рост заработной платы в отрасли согласно Директиве Президента Республики Беларусь № 6 от 04.03.2019 г. «О развитии села и повышении эффективности аграрной отрасли»<sup>1</sup>, повышение престижа аграрных профессий и аграрного труда.

**Основная часть.** Согласно данным Всемирного банка, в мире в 2014–2016 гг. в сельском хозяйстве было занято 28,4 % населения, при этом показатель занятости варьируется от 54,0 % в африканских странах до 1,4 % в Северной Америке (табл. 1). Кроме того, в странах с высоким доходом отрасль в структуре занятости занимает 3,3 %, в то время как в странах с низким доходом – 60,3 %. Однако общей тенденцией является сокращение удельного веса занятости в аграрной отрасли по всем регионам мира, при этом в развитых странах мира сформировался высокотехнологичный аграрный сектор.

Следует отметить появление новых профессий в аграрной отрасли в связи с модернизацией отрасли (агроном-экономист, оператор автоматизированной сельскохозяйственной техники, городской фермер, ГМО-агроном, агроинформатик, агрокибернетик)<sup>2</sup>. Их становление обусловлено следующими тенденциями: нарастающие процессы глобализации, распространение и внедрение процессов автоматизации, усиливающий рост конкуренции, сложности систем управления. Это, в свою очередь, усиливает требования к навыкам и умениям работников в направлении системного мышления, способности управлять робототехникой, соблюдения принципов экологичности и ресурсосбережения в аграрном производстве.

<sup>1</sup> О развитии села и повышении эффективности аграрной отрасли [Электронный ресурс]: директива Президента Республики Беларусь, 4 марта 2019 г., № 6 / КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2019.

<sup>2</sup> Атлас новых профессий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://atlas100.ru/>. Дата доступа: 15.11.2020.

В настоящее время вызовами для экономики стран мира стали готовность к технологическим изменениям, с одной стороны, и к постоянному профессиональному образованию, профессиональной, межотраслевой и территориальной мобильности, с другой стороны.

В таких условиях происходят изменения в принципах и методах организации труда, занятости и производства, в стратегиях и методах управления. В последнее время значительно изменились виды занятости, возросло число разновидностей трудовых договоров и получили широкое распространение новые формы организации труда [9, 13, 15–17]. Объясняется это следующими причинами:

1) высококвалифицированные специалисты всегда востребованы на рынке труда, так как современные компании стремятся сформировать персонал наиболее подходящей квалификации и уровня образования;

2) конкурентная среда требует от персонала гибкости, постоянного обновления знаний, готовности к мобильности;

3) субъекты хозяйствования проявляют интерес к поддержанию подвижной базы человеческих ресурсов, которую можно регулировать в случае изменения конъюнктуры рынка, запуска новых проектов.

Нами установлено, что в таких условиях существенно меняется структура рабочей силы, растет численность работников, занятых высококвалифицированным и высокооплачиваемым трудом [3, 4]. В связи с автоматизацией и роботизацией различных видов деятельности, включая услуги, сегмент низкооплачиваемых видов деятельности и работников, выполняющих различные виды работ, не требующих специальных знаний и навыков, исчезает.

Так, Е. Попкова и А. Боговиз, отмечают, что технологии индустрии 4.0 трансформируют условия для предпринимательской деятельности и развивают новые производственные возможности всех отраслей народного хозяйства, включая АПК [11]. При этом достигается снижение трудовой нагрузки на человеческие ресурсы. Это позволяет повысить интеллектуально-управленческую составляющую профессиональной деятельности работников предприятий АПК. Как показала практика, в настоящее время внедрить цифровые технологии в производственные и управленческие процессы могут только крупные сельскохозяйственные организации [11, 12].

Существует мнение, что цифровизация окажет влияние не только на рост производительности труда, но и усилит процессы высвобождения рабочей силы из производства, которые будут заменены роботами [12]. Этот вопрос актуален для сельского хозяйства многих стран мира, так как поколения фермеров стареют, что не обеспечивает преемственность крестьянских поколений.

Исследования показали, что в условиях цифровой экономики, когда ряд профессий исчезает посредством постепенной автоматизации и вытеснения живого труда, социальную защиту трудоспособных граждан предложено решать в рамках реализации концепции безусловного основного дохода (БОД). Концепция предполагает регулярные выплаты гражданам страны независимо от наличия работы, нуждаемости и других факторов [6, 7, 18]. В большинстве стран инициатором выступает правительство. В некоторых государствах такую идею продвигают крупные корпорации и общественные движения [6]. В ряде государств уже начали внедрять БОД (Нидерланды, Финляндия, Германия, Канада), в других его только обсуждают (Шотландия, Южная Корея, Япония), кроме того, в отдельных странах от применения такой концепции отказываются (Венгрия, Швейцария).

**Т а б л и ц а 1. Изменение занятости населения в сельском хозяйстве в регионах мира, 2000–2016 гг., %**

**Table 1. Variability of population employment in agriculture in the world regions, 2000–2016, %**

Регион мира	2000–2002 гг.	2014–2016 гг.	Изменение, п.п.
Восточная Азия и Тихоокеанский регион	45,0	27,2	–17,8
Латинская Америка и Карибы	18,8	13,8	–5,0
Средний Восток и Северная Африка	24,1	16,8	–7,3
Северная Америка	1,6	1,4	–0,2
Южная Азия	57,5	44,9	–12,6
Субсахарская Африка	61,6	54,0	–7,6
Европа и Центральная Азия	13,4	8,8	–4,6
Страны с низким доходом	68,2	60,3	–7,9
Страны с доходом ниже среднего	54,2	42,3	–11,9
Страны с доходом выше среднего	40,2	23,4	–16,8
Страны с высоким доходом	5,1	3,3	–1,8
<b>Весь мир</b>	<b>39,4</b>	<b>28,4</b>	<b>–11,0</b>

**П р и м е ч а н и е.** Таблица составлена по данным Всемирного банка: World Development Indicators: Agricultural inputs [Electronic resource] // The World Bank. Mode of access: <http://wdi.worldbank.org/table/3.2#>. Date of access: 16.12.2020.

Учитывая влияние вышеназванных факторов, нами проанализированы тенденции занятости в аграрной отрасли Республики Беларусь (табл. 2). В анализируемом периоде наблюдается тенденция сокращения численности занятых в сельском хозяйстве. Если в 2010 г. в сельскохозяйственных организациях было занято 370,8 тыс. работников, то в 2019 г. – 273,2 тыс. При этом если в 2010 г. в республике насчитывалось 1639 крупных сельскохозяйственных организаций, то в 2019 г. их число составляло 1389.

Т а б л и ц а 2. Динамика занятости населения в сельском хозяйстве Республики Беларусь, 2010–2019 гг.

Table 2. Dynamics of population employment in agriculture in the Republic of Belarus, 2010–2019

Область	Всего занятых в отрасли, тыс. чел.			Число сельскохозяйственных организаций			Списочная численность работников сельскохозяйственных организаций, тыс. чел.		
	2010 г.	2015 г.	2019 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.
Брестская	89,1	83,3	72,8	305	267	259	68,4	58,7	53,3
Витебская	68,2	53,7	46,3	290	252	231	56,7	46,0	38,4
Гомельская	65,9	57,0	51,1	225	215	226	52,6	46,0	41,4
Гродненская	73,4	63,7	52,4	206	167	143	64,0	55,0	46,2
Минская	99,7	88,2	70,9	392	360	359	86,1	71,6	61,5
Могилевская	50,9	43,7	36,3	221	193	171	42,0	37,2	31,7
<b>Республика Беларусь</b>	<b>450,4</b>	<b>392,0</b>	<b>330,7</b>	<b>1639</b>	<b>1454</b>	<b>1389</b>	<b>370,8</b>	<b>315,2</b>	<b>273,2</b>

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь: Трудовые ресурсы и занятость населения Республики Беларусь в 2010 году: стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2011. 29 с.; Трудовые ресурсы и занятость населения Республики Беларусь в 2015 году: стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2016. 38 с.; Трудовые ресурсы и занятость населения Республики Беларусь в 2019 году: стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2020. 38 с.; Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2017. С. 17, 22; Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2020. С. 15, 20.

Согласно демографическому прогнозу, численность сельского населения республики на период 2020–2030 г. будет снижаться ежегодно в среднем на 1,6 %, в том числе моложе трудоспособного возраста – на 1,6 %, в трудоспособном возрасте – на 2,5 %. В целом демографический прогноз показывает снижение численности сельского населения: по республике – на 15,2 %, в том числе моложе трудоспособного возраста – на 14,8 %, в трудоспособном возрасте – на 22,7 %. Это свидетельствует о сужении демографической основы для воспроизводства трудовых ресурсов села. Следует отметить, что при такой тенденции эффективность реализации кадровой политики АПК будет зависеть от технико-технологической модернизации отрасли, а также опережающей подготовки высококвалифицированных кадров на высокопроизводительные рабочие места. При этом качественные изменения в составе трудовых ресурсов предопределены развитием науки и техники. Изменения в организации процессов производства, трудовых функциях усиливают требования к профессиональному мастерству и квалификации работников.

Анализ динамики фактических данных о применении труда в сельском хозяйстве свидетельствует о снижении за период 2000–2019 гг. совокупных абсолютных затрат, выраженных в человеко-часах, на 61,5 %, что обусловлено технико-технологическим переоснащением аграрной отрасли (табл. 3).

Это свидетельствует об интенсификации производства, его механизации и автоматизации, углублении специализации.

Условием внедрения в информационно-коммуникационное пространство является подключение к сети Интернет и наличие веб-сайта в компании, а также обеспеченность специалистами, имеющими необходимые компетенции для работы в информационном пространстве. Удельный вес организаций сферы сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства (по виду экономической деятельности), подключенных к Интернету, составил в 2018 г. 99,9 % к общему числу обследованных организаций. Среди них доля предприятий аграрной сферы, имевших веб-сайт в 2018 г. – наименьшая, только 35,4 % (рис. 1).



Т а б л и ц а 3. Структура затрат труда в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь, 2000–2019 гг.

Table 3. Structure of labour costs in agricultural organizations, Republic of Belarus, 2000–2019

Отрасль, показатель	2000 г.		2005 г.		2010 г.		2019 г.		2019 г. к 2000 г., %
	тыс. чел.-ч.	%	тыс. чел.-ч.	%	тыс. чел.-ч.	%	тыс. чел.-ч.	%	
Растениеводство	246508	20,6	156846	19,3	127616	18,5	83269,6	18,1	33,8
Животноводство	462057	38,7	351240	43,2	304497	44,1	209016,9	45,4	45,2
Общепроизводственные затраты по растениеводству	40713	3,4	28498	3,5	24825	3,6	16798,1	3,6	41,3
Общепроизводственные затраты по животноводству	46180	3,9	32604	4,0	28462	4,1	21634	4,7	46,8
Промышленное производство	107413	9,0	66462	8,2	56855	8,2	36586	7,9	34,1
Услуги	4754	0,4	3552	0,4	3841	0,6	2036	0,4	42,8
Затраты по реализации	26157	2,2	16431	2,0	16207	2,3	12076	2,6	46,2
Транспорт	146952	12,3	81508	10,0	62692	9,1	41009,6	8,9	27,9
Общехозяйственные расходы	114429	9,6	76361	9,4	65379	9,5	38135,4	8,3	33,3
Итого	1195165	100,0	813501	100,0	690374	100,0	460561,9	100,0	38,5

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена по данным сводных годовых отчетов сельскохозяйственных организаций Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

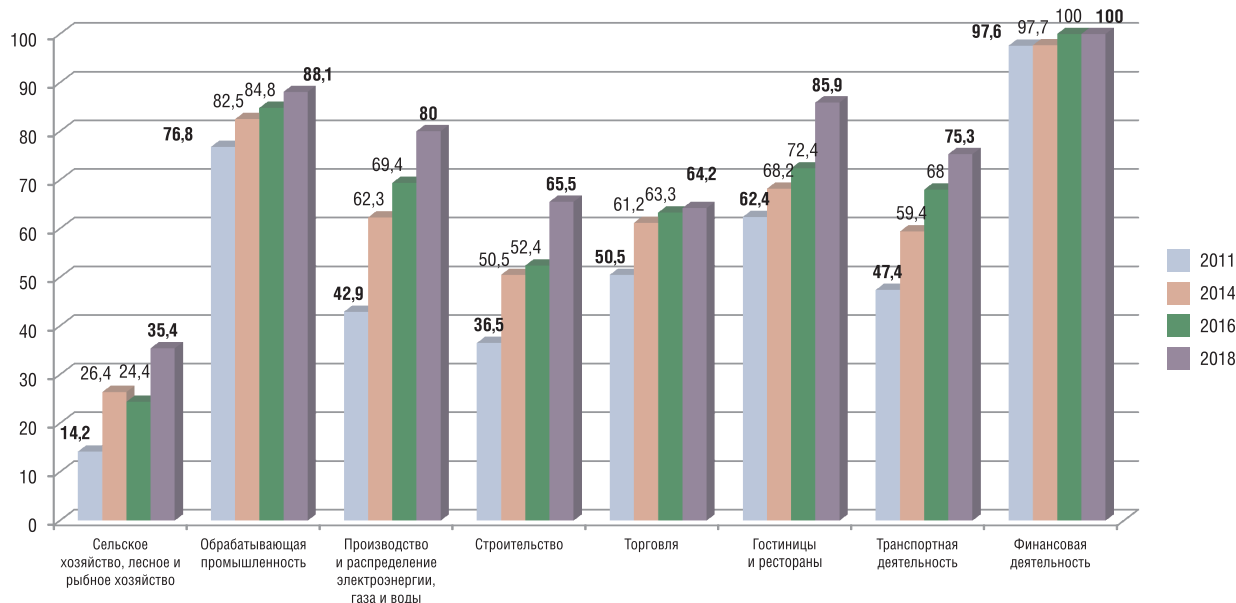


Рис. 1. Динамика распределения организаций, имевших веб-сайт, по видам экономической деятельности в Республике Беларусь, 2011–2018 гг., % к общему числу обследованных организаций

Fig. 1. Dynamics of distribution of organizations with a website by type of economic activity in the Republic of Belarus, 2011–2018, % of the total number of surveyed organizations

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь: Информационное общество в Республике Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2019. С. 69.

Расширение компетенций кадров субъектов агробизнеса посредством использования ИКТ является важным фактором их функционирования в условиях цифровой экономики. Они нужны для эффективного взаимодействия в рамках ЕАЭС, СНГ и Союзного государства, в условиях вступления Беларуси в ВТО и функционирования по следующим ее принципам: организации совместной товаропроводящей сети, формирования единого аграрного рынка ЕАЭС, адаптации сельского хозяйства к изменению условий экспорта продукции АПК в страны ЕС, конкурентоспособности экспортеров на внешних рынках.



Исследования свидетельствуют, что система аграрного образования Республики Беларусь в целом обеспечивает подготовку аграрных кадров в соответствии с количественными запросами отрасли. Однако мониторинг кадрового обеспечения организаций АПК показал, что несмотря на это в последние годы в них постоянно востребованы специалисты отраслевого и технико-технологических направлений: агрономы, зоотехники, ветеринарные врачи, инженеры и т.д. В частности, в сельскохозяйственных организациях на 01.01.2020 г. имеются вакантные рабочие места специалистов зооветеринарного профиля: 930 ветеринарных врачей и 658 зоотехников. Ежегодное пополнение сельскохозяйственных организаций выпускниками аграрных вузов не в состоянии покрыть испытываемый ими постоянный острый дефицит в высококвалифицированных специалистах из-за высокой текучести кадров.

По оценкам экспертов, наниматели предъявляют несколько завышенные требования и сразу хотят видеть в молодых специалистах понимание ими своих задач, умение работать как самостоятельно, так и в команде, владение необходимыми навыками управленческой работы, что, конечно, приобретается только с опытом [30]. В свою очередь, негативными сторонами позиции молодого специалиста иногда являются завышенные ожидания от нанимателя – получить социальные и экономические блага в короткий срок. В сельскохозяйственной организации в большинстве случаев молодой специалист ожидает получить профессиональный опыт, необходимые знания, навыки и умения, при этом быть достойно материально вознагражденным. Несовпадение этих позиций становится источником конфликта между работником и работодателем. Так, молодых специалистов, в той или иной степени настроенных на смену места работы: почти в каждом втором случае (47,6 %) не устраивал размер заработка, в каждом третьем (31,0 %) – условия и режим труда, еще 19,6 % респондентов отмечали повышенные психофизиологические нагрузки на работе [30].

Вышеизложенное предопределяет проведение регулярного мониторинга мнений как выпускников учреждений системы аграрного образования, так и работодателей, а также выявление глубинных причин сложившейся ситуации с кадровым обеспечением отрасли. Так, например, анализ рейтинга отраслей по заработным платам в Российской Федерации в 2020 г.<sup>3</sup> показал, что наибольшая доля работников, зарабатывающих более 100 тыс. руб., наблюдается в рыболовстве и рыбоводстве (отрасль занимает первое место по доле высокооплачиваемых сотрудников – почти треть занятых в этих отраслях получают более 100 тыс. руб. в месяц), а наименьшая доля – в сельском хозяйстве. На второй строчке рейтинга находится финансовая сфера, замыкает тройку лидеров сфера добычи полезных ископаемых.

Из этого следует вывод, что условием дальнейшего развития сельского хозяйства России является повышение престижности сельскохозяйственного труда. Так, по исследованиям Ю.Н. Шумакова, М.П. Тушканова, удовлетворенность трудом, увлечение им на сегодняшний день явно недостаточны, что обусловлено низким уровнем его оплаты, многими социально-психологическими факторами [36]. Исследователями подчеркивается низкий уровень оплаты работников сельского хозяйства и высокая напряженность труда, что не привлекает молодежь. Для решения кадровой проблемы отрасли предложены меры по восстановлению здоровой трудовой морали, возвращению понятий нравственности и здоровых взаимоотношений, окружению человека труда уважением и почетом.

Проведенное нами ранжирование отраслей экономики по степени привлекательности занятости в Республике Беларусь показало, что вид экономической деятельности «Растениеводство, животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях» занимает последнее место в рейтинге (табл. 4, 5). Углубленный анализ свидетельствует, что уровень оплаты труда, порядок ее расчета, а также условия труда (в первую очередь ненормированный рабочий день) явились факторами, влияющими на престижность трудоустройства в отрасли.

Такая ситуация в итоге приводит к тому, что потенциальные абитуриенты рассматривают учреждения образования аграрного профиля по остаточному принципу, и в таком случае вести речь о призвании к работе, ориентации на построение карьеры в аграрной сфере не представляется возможным.

<sup>3</sup> Рейтинг отраслей по заработным платам в 2020 году [Электронный ресурс] // РИА Новости. Режим доступа: <https://ria.ru/20200803/1575199913.html>. Дата доступа: 15.11.2020.

Т а б л и ц а 4. Показатели оценки престижа отраслей экономики по степени привлекательности занятости в Республике Беларусь, 2018 г.  
T a b l e 4. Indicators for assessing the prestige of industries according to the degree of attractiveness for employment in the Republic of Belarus, 2018

Отрасль	Средний возраст работников, лет	Удельный вес работни- ков старше трудоспо- собного возраста (жен. – 55 лет и старше, муж. – 60 лет и старше), лет	Доля молодежи до 31 года, %	Удельный вес работни- ков с выс- шим образо- ванием, %	Удельный вес работни- ков с общим базовым образовани- ем, %	Отработано часов в сред- нем одним работником	Среднечасо- вая оплата одного работника, руб.	Соотноше- ние приня- тых работни- ков и уволен- ных, %
Растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях	<b>43,4</b>	<b>7,7</b>	<b>16,7</b>	<b>11,6</b>	<b>7,8</b>	<b>2154</b>	<b>3,7</b>	<b>86,2</b>
Промышленность	42,2	7,6	18,8	26,4	1,8	1839	6,8	91,1
Строительство	42,0	7,6	20,5	22,5	1,9	1920	6,2	89,2
Оптовая и розничная торговля, ремонт автомобилей и мотоциклов	38,4	7,4	30,1	29,7	1,4	1926	5,5	101,2
Транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность	42,2	7,0	19,5	24,8	1,3	1874	6,7	96,5
Услуги по временному проживанию и питанию	37,4	10,0	39,2	22,3	1,8	1900	4,9	103,0
Информация и связь	35,9	4,0	38,2	75,1	0,1	1861	17,7	120,7
Финансовая и страховая деятельность	38,4	3,6	25,7	76,1	0,1	1844	10,2	69,2
Операции с недвижимым имуществом	45,1	18,6	14,6	45,7	0,1	1875	5,7	82,8
Профессиональная, научная и техническая деятельность	42,4	16,9	21,9	74,1	0,3	1861	8,2	93,5
Деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг	44,3	13,6	16,3	23,5	3,1	1854	4,4	85,7
Государственное управление	40,0	7,0	23,3	72,8	0,3	1909	8,0	98,1
Образование	44,0	17,1	17,2	55,4	0,9	1795	4,3	96,6
Здравоохранение и социальные услуги	43,7	18,0	18,5	24,5	1,1	2055	4,2	102,7
Творчество, спорт, развлечения и отдых	42,8	17,0	23,6	40,4	1,0	1899	4,4	96,0

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена автором по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь: Численность и заработная плата работников Республики Беларусь в январе-декабре 2018 года: стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2019. 59 с.; Численность, состав и профессиональное обучение кадров Республики Беларусь в 2018 году: стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2019. 133 с.

Т а б л и ц а 5. Показатели ранжирования отраслей экономики по степени привлекательности занятости в Республике Беларусь, 2018 г.  
 T a b l e 5. Indicators for ranking of industries according to the degree of attractiveness for employment in the Republic of Belarus, 2018

Отрасль	Ранг							Интегральный рейтинг	Итоговое место в рейтинге
	Средний возраст работников, лет	Удельный вес работников старше трудоспособного возраста (жен. – 55 лет и старше, муж. – 60 лет и старше), лет	Доля молодежи до 31 года, %	Удельный вес работников с высшим образованием, %	Удельный вес работников с общим базовым образованием, %	Отработано часов в среднем одним работником	Средне-часовая оплата одного работника, руб.	Соотношение принятых работников и уволенных, %	
Растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях	11	8	13	15	15	15	15	12	10
Промышленность	7	6	10	9	11	2	5	10	5
Строительство	6	7	8	13	13	12	7	11	7
Оптовая и розничная торговля; ремонт автомобилей и мотоциклов	3	5	3	8	10	13	9	4	4
Транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность	8	3	9	10	9	7	6	7	4
Услуги по временному проживанию и питанию	2	9	1	14	12	10	10	2	5
Информация и связь	1	2	2	2	1	5	1	1	1
Финансовая и страховая деятельность	4	1	4	1	2	3	2	15	2
Операции с недвижимым имуществом	15	15	15	6	3	8	8	14	8
Профессиональная, научная и техническая деятельность	9	11	7	3	4	6	3	9	4
Деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг	14	10	14	12	14	4	11	13	9
Государственное управление	5	4	6	4	5	11	4	5	3
Образование	13	13	12	5	6	1	13	6	6
Здравоохранение и социальные услуги	12	14	11	11	8	14	14	3	8
Творчество, спорт, развлечения и отдых	10	12	5	7	7	9	12	8	6

Примечание. Таблица составлена автором по материалам собственных исследований.



Рис. 2. Структурно-логическая схема процесса профессиональной идентификации индивида при выборе профессии  
Fig. 2. Structural and logical diagram of the process for professional identification of an individual when choosing a profession

Примечание. Рисунок составлен автором по материалам собственных исследований с использованием источника: Черноволенко В. Ф., Оссовский В. Л., Паниотто В. И. Престиж профессий и проблемы социально-профессиональной ориентации молодежи: опыт социологического исследования. Киев: Наук. думка, 1979. 214 с.

Основной причиной низкой мотивации труда в сельскохозяйственных организациях и, следовательно, хронического дефицита кадров (структурного и компетентностного) в них является низкий уровень заработной платы, т. е. цена рабочей силы. Аграрные предприятия с высоким ее уровнем, как правило, не имеют проблем с комплектованием кадров. Многочисленные работники дефицитных на рынке аграрного труда профессий трудоустраиваются в другие отрасли, зачастую не по специальности. Такая ситуация является следствием роста затрат на подготовку нового специалиста, тем самым вызывая дополнительные расходы бюджетных средств. Из этого следует вывод, что существующая в сельском хозяйстве система заработной платы и использования кадров снижает престиж высшего образования, стимулы у работников к производительному труду.

В этой связи нами систематизирован инструментарий профессиональной идентификации при выборе будущей сферы занятости, который включает:

1) структурно-логическую схему процесса профессиональной идентификации индивида при выборе профессии (рис. 2);

2) опросный лист «Авторитетная профессия», в котором приведен перечень критериев привлекательности будущей сферы занятости: быть материально обеспеченным; работать в здоровой обстановке; пользоваться уважением коллег, друзей; добиться популярности в обществе; руководить коллективом; постоянно повышать квалификацию; приобретать новые знания и расширять свой кругозор; наиболее полно использовать свои личные способности; иметь возможность продвижения по службе на более ответственные должности; быть полезным обществу; создавать востребованную продукцию, товары; оказывать услуги; работать на современном оборудовании и механизмах;

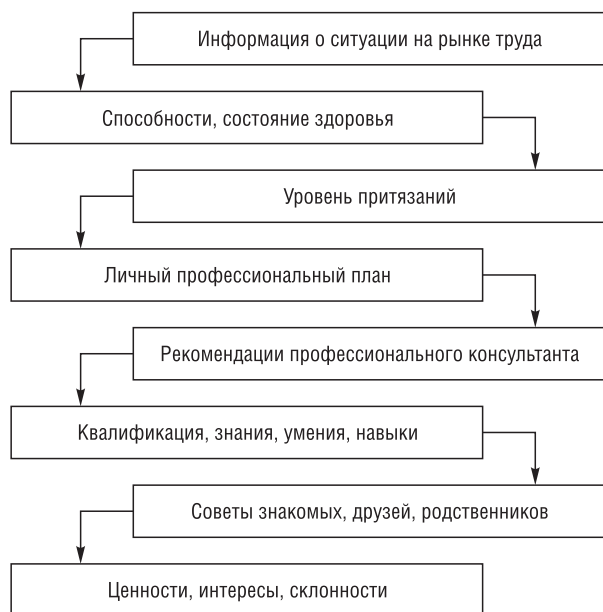


Рис. 3. Комплексная схема факторов, влияющих на выбор профессии

Fig. 3. Complex layout of factors affecting the choice of profession

П р и м е ч а н и е. Рисунок составлен автором по материалам собственных исследований.

3) комплексную схему факторов, влияющих на выбор профессии (рис. 3), которые определяют подготовку молодежи к сознательному выбору профессии с учетом способностей самого работника и ситуации на рынке труда;

4) алгоритм оптимального выбора профессии, который приведен на рис. 4.

Реализация предлагаемых разработок будет иметь смысл в том случае, если будет признана общественная значимость сельскохозяйственного труда и повышен его престиж. Так, для поступательного кадрового обеспечения отрасли сформированы профильные агроклассы, которые призваны способствовать сознательному выбору профессии наряду с проводимыми мероприятиями профориентационной работы [40]. Агроклассы обеспечивают комплексное обучение выпускников учреждений общего среднего образования по специально созданному факультативному курсу «Введение в аграрные профессии». Курс включает два блока: «Введение в аграрное производство» и «Основы аграрного производства».

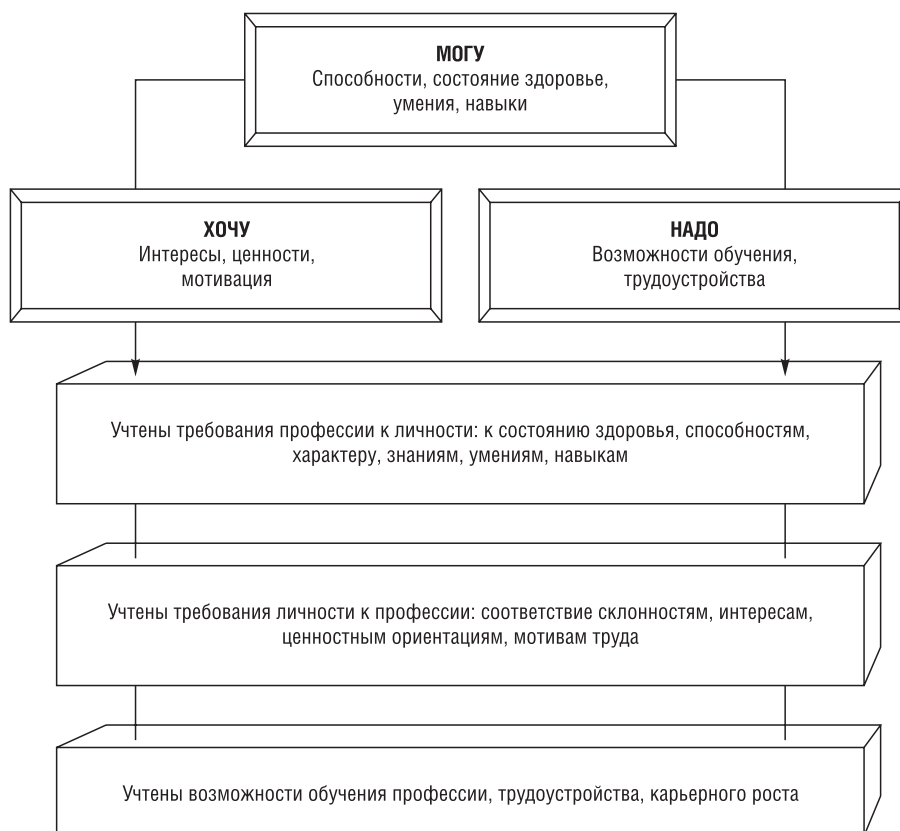


Рис. 4. Алгоритм оптимального выбора профессии

Fig. 4. Algorithm for optimal choice of profession

П р и м е ч а н и е. Рисунок составлен автором по материалам собственных исследований.



Обучение в агроклассах, как правило, ориентировано на учеников сельских школ. По нашему мнению, учитывая, что основой жизнедеятельности человека является питание, следует расширить такую подготовку и для городских школьников. Например, в рамках реализации ознакомительного курса «Введение в аграрные профессии» презентации об объектах агрокультурного наследия в Беларуси как образовательного компонента. Как показывает практика, изучение и популяризация объектов агрокультурного наследия позволяет сохранить историю природопользования страны или народа, цивилизации, процессы и механизмы формирования и функционирования агрокультуры, сельского быта и труда [41]. Представленная инициатива – важный элемент государственной политики, который поднимает престиж стран и их сельских сообществ, вызывает гордость за их труд и усилия благодаря глобальному признанию ценности сельскохозяйственного наследия. Данные системы и их инфраструктура создают основу для научных исследований, формируют сети обмена знаниями, служат сохранению биологического и культурного разнообразия мирового значения.

Вместе с тем функционирует механизм целевой подготовки специалистов для сельскохозяйственных организаций как процесс взаимодействия профессиональных учебных заведений с организациями и другими заинтересованными сторонами с целью установления баланса между спросом и предложением на рынке труда и рынке образовательных услуг [42]. Практика показывает, что решить проблему привлечения кадров в сельскохозяйственные организации формальным увеличением контрольных цифр приема абитуриентов не имеет под собой достаточных оснований, как и заполнение учебных мест в учреждениях системы аграрного образования за счет выпускников аграрных классов. Это подтверждают следующие данные. В 2020 г. план целевого приема на специальность «Зоотехния» выполнен на 24,5 %, «Ветеринарная медицина» – на 53,4 %. В 2020 г. из 1166 выпускников агроклассов на обучение в аграрные вузы зачислено 156 чел. (13,4 % от выпуска), из них на условиях целевой подготовки – 104 чел.

Разрешение сложившейся ситуации ориентирует на формирование модели управления занятостью трудовых ресурсов в аграрном производстве, в основе которой – предпринимательская форма управления, позволяющая повысить мотивацию к эффективной производственной деятельности персонала сельскохозяйственной организации.

Важно учитывать ту среду, в которой формируется трудовой потенциал аграрной отрасли. Агрогородки отличаются более комфортными условиями проживания и трудовыми возможностями по сравнению с другими сельскими населенными пунктами (поселками, деревнями, хуторами). Тем не менее потенциал социального и трудового развития агрогородков не исчерпан.

Проведенные исследования показывают, что практически всем агрогородкам свойственна тенденция старения населения. Изменение же доли населения трудоспособного возраста зависит от следующих факторов: там, где имеется развитая производственная и социальная инфраструктура, которая предоставляет рабочие места, наблюдается рост доли данной категории лиц, и наоборот, в агрогородках, где инфраструктура претерпевает изменения (преобразование предприятий, их ликвидация), удельный вес этой категории сокращается, и в некоторых из них значительно. Наряду с этим установлено, что в пределах одного административного района сформировались различные по размеру численности населения агрогородки – с численностью жителей до 300 чел. и свыше 1000 чел. В наиболее крупных расположено и большее число домохозяйств. В них же за период 2010–2020 гг. наблюдается больший удельный вес населения в трудоспособном возрасте. Это свидетельствует о том, что здесь сформировались центры трудовой и социальной жизни при сформированной инфраструктуре: производственной и социальной, более развитой сферы услуг по сравнению с прилегающими сельскими населенными пунктами.

Учитывая, что в основе развития сельских территорий в республике лежит модернизация субъектов хозяйствования аграрной сферы сельского хозяйства (стимулирование инвестиционной деятельности, технико-технологическое переоснащение, инновационное развитие, повышение эффективности, конкурентоспособности сельскохозяйственного производства и сбыта сельскохозяйственной продукции и продуктов питания), то это закономерно приводит к высвобождению излишнего персонала из сельскохозяйственных предприятий. Кроме того, актуализируется переход от использования трудосберегающих к трудозамещающим технологиям,

в которых число физических рабочих мест сокращается. Это предопределяет выработку дифференцированных направлений формирования и реструктуризации рабочих мест в агрогородках и прилегающих к ним территориях, стратегии занятости, учитывая при этом особенности демографической ситуации.

В этой связи концептуальные направления эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в АПК включают уточненные формы реализации управленческих воздействий, управленческие взаимосвязи и характер отношений между субъектом и объектом в процессе управления на республиканском, региональном уровнях, уровень предприятия и отдельного работника (табл. 6).

Т а б л и ц а 6. Реализация концепции эффективного управления занятостью трудовых ресурсов в АПК  
Table 6. Implementation of effective labor resources employment management concept in the agro-industrial complex

Составные элементы и инструменты	Республиканский (макроуровень)	Региональный уровень (область, район)	Уровень нанимателя (микроуровень)	Индивидуальный уровень (работника)
Цели и задачи	Повышение эффективности занятости, развитие человеческого капитала	Взаимодействие с предприятиями-работодателями по вопросам трудоустройства, регулирование безработицы	Формирование эффективной системы управления персоналом, снижение уровня избыточной и скрытой занятости	Профессиональная ориентация, поиск сферы занятости, трудоустройство
Субъекты	Органы управления, население	Службы занятости, объединения работодателей, посредники на рынке труда	Администрация предприятий, персонал	Индивиды, выбирающие сферу занятости
Объекты	Человеческий капитал страны	Экономически активное население, лица с ограниченной конкурентоспособностью, отрасли и сферы занятости	Рабочие места по физическим, социальным и экономическим параметрам	Индивиды, цель которых трудоустройство или самозанятость
Методы	Правовые, финансово-кредитные, экономические, организационные	Административные, организационные	Коллективно-договорные, социально-психологические, экономические, организационные	Организационные, договорные
Формы	Основные направления социально-экономического развития, государственная программа содействия занятости населения, отраслевые программы	Региональные программы занятости, специализированные программы	Коллективные соглашения, трудовые контракты, кадровый маркетинг	Трудоустройство, самозанятость, предпринимательство
Организационное взаимодействие	Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, отраслевые министерства в зависимости от специфики взаимодействия	Областные, районные, городские службы занятости населения, посредники на рынке труда	Кадровые службы и службы управления персоналом предприятий	Работник, предприниматель

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена автором по материалам собственных исследований.

Так, для совершенствования кадрового обеспечения субъектов хозяйствования АПК предложено: усиление практической ориентированности образования на целевую подготовку кадров; определение приоритетов подготовки специалистов, формирование эффективного спроса, выявление востребованных специальностей и профессий с учетом мнения работодателей [43]; совершенствование мотивации и стимулирования качественного производительного труда через распространение форм поощрения предпринимательского труда [44].

В целях повышения престижа аграрных специальностей необходимо: проведение целенаправленной информационной работы за счет усиления идеологии и общественного сознания в отношении к сельскому труду через средства массовой информации, искусство, культуру, литературу; нейтрализация негативных стереотипов в отношении сферы аграрного образования и трудоустройства в сельское хозяйство. Здесь важно увязать два направления: мотивационное – усиление заинтересованности в занятости в отрасли и технико-технологическое – обеспечение условий труда и быта.

Для активизации самозанятости как формы трудоустройства сельских жителей целесообразно: развитие наряду с крупнотоварным аграрным производством субъектов малого агробизнеса посредством стимулирования предпринимательской инициативы и деловой активности населения с углубленной специализацией на овцеводстве, птицеводстве, пчеловодстве, выращивании овощей, фруктов, ягод.

Повышению привлекательности проживания в сельской местности будет способствовать: формирование национального партнерства органов государственного управления развитием сельской экономики; повышение качества жизни сельского населения через совершенствование содержания социальных стандартов и их выполнение. Как показывает зарубежный опыт, именно новые технологии передачи информации, коммуникационные сети явились факторами, сдерживающими миграцию из сельских территорий, особенно молодежи.

### Выводы

1. Принятый государством курс на развитие конкурентоспособного и экологически безопасного сельского хозяйства и его интеллектуализацию в рамках Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года требует повышения профессионально-квалификационного уровня работников отрасли и подготовки кадров для высокотехнологичных производств, роста их интеллектуально-образовательного потенциала. Так, интеллектуализация и цифровизация производственных и социально-экономических процессов путем внедрения электронного документооборота, цифровых платформ, мобильных и онлайн-приложений, GPS-систем, автоматизации производственных процессов, робототехники, биосенсоров требует новых компетенций. Недостаточная квалификация кадров является основным препятствием при внедрении инноваций на предприятиях аграрной отрасли. Это предопределяет совершенствование инструментов кадровой политики, среди которых можно выделить новые подходы к профессиональному становлению кадров и мотивации работы в отрасли.

2. Адаптация к новым условиям потребует, во-первых, формирования и постоянного совершенствования образовательной политики, ориентированной на решение как инструментально-технологических, так и социально-экономических задач развития информационного общества через предоставление рабочей силе соответствующих компетенций. Во-вторых, дальнейшая трансформация форм занятости и характера труда будет зависеть от формирования инфраструктуры, которая позволит внедрить новые цифровые технологии, направленные на автоматизацию задач, а также модификацию рабочих мест.

3. Новые условия хозяйствования закономерно приводят к формированию новой модели компетенций, что предопределяет разработку инструментария, позволяющего ориентировать индивида в выборе будущей сферы трудоустройства: структурно-логическая схема процесса профессиональной идентификации индивида при выборе профессии; опросный лист «Авторитетная профессия»; комплексная схема факторов, влияющих на выбор профессии; алгоритм оптимального выбора профессии. При условии роста престижа занятости в аграрной сфере это позволит преодолеть хронический компетентностный дефицит кадров в аграрной отрасли, избежать непродуктивной занятости работников, развивать предпринимательскую активность.

4. Сельскохозяйственное предприятие, являясь градообразующим субъектом хозяйствования на локальном рынке аграрного труда, обуславливает формирование монопрофильной экономики в сельском населенном пункте. Это предопределяет высокую степень зависимости благосостояния сельскохозяйственного работника и его уклада жизни от финансово-экономического положения аграрного предприятия, принятой там системы мотивации и стимулирования труда. Главной целью управления занятостью трудовых ресурсов в сельском хозяйстве в Республике Беларусь,

в отличие от существующего подхода на ориентацию и поддержание общего уровня занятости преимущественно сельского населения в отрасли, должно стать повышение экономической и социальной эффективности занятости за счет изменения ее структуры, форм, методов и способов взаимодействия субъектов и объектов рынка аграрного труда, сельской экономики в целом.

Научная значимость результатов заключается в осмыслении новых сущности и цели процесса управления занятостью трудовых ресурсов в аграрной отрасли в изменяющихся условиях, ориентации на решение проблемы повышения престижа аграрных профессий, изменение общественного сознания в отношении к сельскому труду, иерархию профессиональных ценностей, нейтрализацию негативных стереотипов в отношении сферы аграрного образования и трудоустройства в сельское хозяйство. Практическая значимость заключается в том, что результаты могут использоваться субъектами сферы аграрного образования при корректировке учебных программ с целью повышения качества подготовки будущих специалистов и адаптации к трудовой деятельности; органами управления АПК – при обосновании и разработке концепций и программных мероприятий по развитию сельскохозяйственной отрасли, дальнейшей стратегии развития агрогородков, увязки перспективных направлений развития аграрной отрасли и сельских территорий.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГНТП «Агропромкомплекс – 2020», подпрограмма «Агропромкомплекс – эффективность и качество» (№ ГР 20193037), задание 1.11 «Разработать систему рекомендаций по стимулированию занятости трудовых ресурсов и росту производительности труда, совершенствованию социально-трудовых отношений на селе, эффективному функционированию малых форм хозяйствования в соответствии с критериями устойчивого развития сельских территорий».

#### Список использованных источников

1. Пашкевич, О. А. Информатизация как фактор трансформации форм организации труда и занятости в сельском хозяйстве / О. А. Пашкевич // Современная аграрная экономика: наука и практика : материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 16–17 марта 2018 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. ; ред.: И. В. Шафранская [и др.]. – Горки, 2018. – С. 199–203.
2. Пашкевич, О. А. Трансформация занятости и труда в условия информационной экономики / О. А. Пашкевич // Учет, анализ и финансы в организациях АПК: состояние и пути совершенствования : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф., приуроч. к 50-летию Фак. бухгалтер. учета / Белорус. гос. с.-х. акад. ; гл. ред. Н. В. Великоборец. – Горки, 2017. – С. 228–230.
3. Pashkevich, V. The information sector in Denmark and Sweden: Value, employment, wages / V. Pashkevich, D. M. Haftor, N. Pashkevich // Technological Forecasting & Social Change. – 2021. – Vol. 162. – Art. 120347. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120347>
4. Pashkevich, N. Ethical reflections on consequences of technological displacement / N. Pashkevich, V. Pashkevich, D. M. Haftor // Reason, faith and practice in our common home: Festschrift for Dr. Sytse Strijbos / ed.: C. Boshuijzen-van Burken, D. M. Haftor. – Amsterdam, 2018. – P. 186–201.
5. Pavlidou, N.-E. Technical change, unemployment and labor skills / N.-E. Pavlidou, P. V. Tsaliki, I. N. Vardalachakis // Intern. J. of Social Economics. – 2011. – Vol. 38, N 7. – P. 595–606. <https://doi.org/10.1108/0306829111139230>
6. Hughes, J. J. Are technological unemployment and a basic income guarantee inevitable or desirable / J. J. Hughes // J. of Evolution a. Technology. – 2014. – Vol. 24, N 1. – P. 1–4.
7. Kim, Y. J. The rise of technological unemployment and its implications on the future macroeconomic landscape / Y. J. Kim, K. Kim, S. Lee // Futures. – 2017. – Vol. 87. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.01.003>
8. Семин, А. В. Влияние роботизации сельского хозяйства на гендерный, возрастной состав работников и уровень их образования / А. Н. Семин, Е. А. Скворцов, Е. Г. Скворцова // Экономика сел. хоз-ва России. – 2020. – № 10. – С. 47–53. <https://doi.org/10.32651/2010-47>
9. Алиев, М. Д. Влияние цифровой экономики на мировой рынок труда / М. Д. Алиев // Междунар. экономика. – 2018. – № 3. – С. 39–43.
10. Колот, А. М. Концепт «Праця 4.0»: теоретико-прикладні засади формування та розвитку / А. М. Колот, О. О. Герасименко // Економіка і прогнозування. – 2020. – № 1. – С. 7–31. <https://doi.org/10.15407/eip2020.01.007>
11. Попкова, Е. Методологические подходы повышения эффективности агропромышленного комплекса на базе технологий индустрии 4.0 / Е. Попкова, А. Боговиз // АПК: экономика, упр. – 2018. – № 10. – С. 28–33.
12. Развитие информационно-коммуникационных и интернет-технологий на аграрном рынке / А. Боговиз [и др.] // АПК: экономика, упр. – 2017. – № 10. – С. 34–44.
13. Садовая, Е. Цифровая экономика и новая парадигма рынка труда / Е. Садовая // Мировая экономика и междунар. отношения. – 2018. – Т. 62, № 12. – С. 35–45. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2018-62-12-35-45>
14. Аранжин, В. В. Глобальные тренды и тенденции в области занятости / В. В. Аранжин // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, № 4. – С. 1353–1372. <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41195>



15. *Бажина, А.А.* Экономическое содержание и виды гибких форм занятости / А.А. Бажина // Науч. тр. Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – Вып. 18. – С. 289–297.
16. *Ванкевич, Е.В.* Предупреждение рисков неустойчивости и незащищенности занятости / Е.В. Ванкевич, О.В. Зайцева // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. – 2017. – №1 (120). – С. 5–13.
17. *Костриця, В.І.* Неформальна та атипова зайнятість як «нова нормальність» у світі та Україні / В.І. Костриця, Т.В. Бурлай // Економіка і прогнозування. – 2019. – №1. – С. 7–34. <https://doi.org/10.15407/eip2019.01.007>
18. *Van Parijs, P.* Basic income: a simple and powerful idea for the twenty-first century / P. Van Parijs // Politics a. Soc. – 2004. – Vol. 32, iss. 1. – P. 7–39. <https://doi.org/10.1177/0032329203261095>
19. *Гусаков, В.Г.* Агропромышленный комплекс Беларуси в условиях трансформационной экономики / В.Г. Гусаков, А.П. Шпак // Белорус. экон. журн. – 2018. – №4. – С. 54–64.
20. *Гусаков, В.Г.* Факторы и методы эффективного хозяйствования / В.Г. Гусаков ; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 56 с.
21. *Микулич, А.В.* Механизм мотивации труда в сельском хозяйстве в новых условиях: теория, методика, практика / А.В. Микулич ; ред. В.Г. Гусаков. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2011. – 273 с.
22. *Старовойтова, Н.А.* Формирование и использование доходов товаропроизводителей сельского хозяйства / Н.А. Старовойтова ; ред. В.Г. Гусаков. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2009. – 193 с.
23. *Борисенко, А.О.* Мотивация труда управленческого персонала в сельскохозяйственных организациях: теоретические и практические аспекты / А.О. Борисенко ; ред. В.Г. Гусаков. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2015. – 185 с.
24. *Балакирева, Т.С.* Особенности и стимулы миграционного поведения молодежи села и малых городов Беларуси / Т.С. Балакирева // Социол. альманах. – 2013. – Вып. 4. – С. 347–351.
25. *Лаврухина, Е.А.* Парадоксы трудоустройства выпускников аграрных вузов / Е.А. Лаврухина // Высш. образование в России. – 2011. – №2. – С. 126–130.
26. Особенности привлечения молодых специалистов и негативные тенденции на рынке труда России / Е.В. Дробот [и др.] // Экономика труда. – 2020. – Т. 7, №3. – С. 253–266. <https://doi.org/10.18334/et.7.3.100709>
27. *Ушачев, И.* Сельскохозяйственные кадры: дефицит при избытке / И. Ушачев, В. Еремеев, Н. Жуков // АПК: экономика, упр. – 2017. – №2. – С. 15–26.
28. *Близнюк, В.В.* Освітньо-кваліфікаційні диспропорції регіонального ринку праці України / В.В. Близнюк, Я.І. Юрик // Економіка і прогнозування. – 2019. – №2. – С. 101–119. <https://doi.org/10.15407/eip2019.02.101>
29. *Гулько, Н.Н.* О проблемах сбалансированности на рынке труда / Н.Н. Гулько, О.А. Динукова, В.Я. Вишневер // Экономика труда. – 2020. – Т. 7, №3. – С. 211–220. <https://doi.org/10.18334/et.7.3.100677>
30. Социальные ожидания работодателей и жизненные планы выпускников / сост.: Н.Г. Трапаянок, Е.В. Дубежинский, Е.И. Вильдфлуш. – Горки : БГСХА, 2016. – 40 с. – (Информационно-аналитический бюллетень / Белорус. гос. с.-х. акад. ; №4 (69)).
31. *Бафанов, А.П.* Способы повышения престижа рабочих профессий [Электронный ресурс] / А.П. Бафанов // Соврем. исслед. соц. проблем. – 2013. – №5. <http://dx.doi.org/10.12731/2218-7405-2013-5-17>
32. *Дмитриева, Л.И.* Ценностные ориентации при трудоустройстве: ключевые индикаторы HR-бренда / Л.И. Дмитриева, А.А. Борисова // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, №4. – С. 1523–1532. <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41192>
33. *Кафидов, В.В.* Социально-экономические факторы престижа профессии [Электронный ресурс] / В.В. Кафидов // Упр. экон. системами : электрон. науч. журн. – 2017. – №7 (101). – Режим доступа: <http://uecs.ru/ekonomicheskaya-bezopasnost/item/4496-2017-07-19-08-24-30>. – Дата доступа:
34. *Цыганкова, И.В.* Факторы мотивации молодежи при выборе профессии / И.В. Цыганкова, В.Ф. Потуданская, Ян Цзывэй // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, №4. – С. 1545–1554. <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41349>
35. *Черноволенко, В.Ф.* Престиж профессий и проблемы социально-профессиональной ориентации молодежи: опыт социологического исследования / В.Ф. Черноволенко, В.Л. Оссовский, В.И. Паниотто. – Киев : Наук. думка, 1979. – 214 с.
36. *Шумаков, Ю.Н.* Повышение престижа сельскохозяйственного труда – важное условие развития сельского хозяйства / Ю.Н. Шумаков, М.П. Тушканов // Экономика сел. хоз-ва России. – 2018. – №3. – С. 23–27.
37. *Никулина, Ю.Н.* Молодежь на рынке труда региона: актуальные вопросы трудоустройства и занятости / Ю.Н. Никулина // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, №2. – С. 747–762. <https://doi.org/10.18334/et.6.2.40780>
38. *Жернов, Е.Е.* Этические аспекты концепции создания общих ценностей / Е.Е. Жернов, Е.В. Нехода, Н.А. Редчикова // Рос. предпринимательство. – 2018. – Т. 19, №12. – С. 4077–4091. <https://doi.org/10.18334/rp.19.12.39630>
39. *Мельникова, Л.Н.* Цели и методы применения концепции создания общих ценностей и ее влияние на трудовые аспекты / Л.Н. Мельникова // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, №1. – С. 15–22. <https://doi.org/10.18334/et.6.1.39770>
40. *Дубежинский, Е.В.* Агроклассы – новая реальность / Е.В. Дубежинский, Н.Г. Трапаянок, Е.И. Вильдфлуш. – Горки : БГСХА, 2020. – 35 с. – (Информационно-аналитический бюллетень / Белорус. гос. с.-х. акад. ; №1).
41. *Пашкевич, О.А.* Агрокультурное наследие: истоки, реалии, будущее / О.А. Пашкевич // Наука и инновации. – 2020. – №9 (211). – С. 37–42. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-9-37-42>
42. *Дубежинский, Е.В.* Целевая подготовка специалистов для организаций АПК / Е.В. Дубежинский, Н.Г. Трапаянок, Е.И. Вильдфлуш. – Горки : БГСХА, 2019. – 47 с. – (Информационно-аналитический бюллетень / Белорус. гос. с.-х. акад. ; №3).
43. *Пашкевич, О.А.* Новое качество трудового потенциала аграрной отрасли: предпосылки формирования / О.А. Пашкевич, В.О. Лёвкина // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2020. – №1. – С. 5–10.
44. *Пашкевич, О.А.* Структура и динамика доходов населения как фактор регулирования равновесия на рынке аграрного труда / О.А. Пашкевич, В.О. Лёвкина // Аграр. экономика. – 2020. – №2. – С. 38–46.



## References

1. Pashkevich O. A. Informatization as a factor in the transformation of forms of labor organization and employment in agriculture. *Sovremennaya agrarnaya ekonomika: nauka i praktika: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Gorki, 16-17 marta 2018 g.* [Modern agricultural economy: science and practice: proceedings of the international scientific and practical conference, Gorki, March 16-17, 2018]. Gorki, 2018, pp. 199-203 (in Russian).
2. Pashkevich O. A. Transformation of employment and labor under conditions of the information economy. *Uchet, analiz i finansy v organizatsiyakh APK: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, priurochennoi k 50-letiyu Fakul'teta bukhgalterskogo ucheta* [Accounting, analysis and finance in organizations of the agro-industrial complex: state and ways of improvement: a collection of scientific articles based on the proceedings of the international scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Faculty of Accounting]. Gorki, 2017, pp. 228-230 (in Russian).
3. Pashkevich V., Haftor D. M., Pashkevich N. The information sector in Denmark and Sweden: Value, employment, wages. *Technological Forecasting & Social Change*, 2021, vol. 162, art. 120347. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120347>
4. Pashkevich N., Pashkevich V., Haftor D. M. Ethical reflections on consequences of technological displacement. *Reason, faith and practice in our common home: Festschrift for Dr. Sytse Strijbos*. Amsterdam, 2018, pp. 186-201.
5. Pavlidou N.-E., Tsaliki P. V., Vardalachakis I. N. Technical change, unemployment and labor skills. *International Journal of Social Economics*, 2011, vol. 38, no. 7, pp. 595-606. <https://doi.org/10.1108/03068291111139230>
6. Hughes J. J. Are technological unemployment and a basic income guarantee inevitable or desirable. *Journal of Evolution and Technology*, 2014, vol. 24, no. 1, pp. 1-4.
7. Kim Y. J., Kim K., Lee S. The rise of technological unemployment and its implications on the future macroeconomic landscape. *Futures*, 2017, vol. 87, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.01.003>
8. Semin A. N., Skvortsov E. A., Skvortsova E. G. Impact of robotization of agriculture on the gender, age list of workers and level of their education. *Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii = Economics of Agriculture of Russia*, 2020, no. 10, pp. 47-53 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/2010-47>
9. Aliev M. D. Influence of the digital economy on global labor market. *Mezhdunarodnaya ekonomika* [The World Economics], 2018, no. 3, no. 39-43 (in Russian).
10. Kolot A. M., Herasymenko O. O. Labor 4.0 concept: theoretical-applicable principles of formation and development. *Economy and Forecasting*, 2020, no. 1, pp. 5-28. <https://doi.org/10.15407/econforecast2020.01.005>
11. Popkova E., Bogoviz A. Methodological approaches of increase in efficiency of agro-industrial complex on the basis of technologies of the industry 4.0. *APK: ekonomika, upravlenie = AIC: Economics, Management*, 2018, no. 10, pp. 28-33 (in Russian).
12. Bogoviz A., Sandu I., Dudin M., Lyasnikov N. Topical issues of development of information, communication and internet technologies in the agricultural market. *APK: ekonomika, upravlenie = AIC: Economics, Management*, 2017, no. 10, pp. 34-44 (in Russian).
13. Sadovaya E. Digital economy and a new paradigm of the labor market. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya = World Economy and International Relations*, 2018, vol. 62, no. 12, pp. 35-45 (in Russian). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2018-62-12-35-45>
14. Aranzhin V. V. Global employment trends and tendencies. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 1353-1372 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41195>
15. Bazhina A. A. Economic content and types of flexible forms of employment. *Nauchnye trudy Akademii upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus'* [Scientific Works of the Academy of Public Administration under the Aegies of the President of the Republic of Belarus]. Minsk, 2016, iss. 18, pp. 289-297 (in Russian).
16. Vankevich E. V., Zaitseva O. V. Preventing risks of employment instability and insecurity. *Vesnik Belaruskaga dzyarzhavnaga ekanamichnaga universiteta* [Belarusian State Economic University Bulletin], 2017, no. 1 (120), pp. 5-13 (in Russian).
17. Kostritsya V. I., Burlai T. V. Undeclared work as a 'new normality' globally and in Ukraine. *Ekonomika i prognozuvannya = Economic and Forecasting*, 2019, no. 1, pp. 7-34 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/eip2019.01.007>
18. Van Parijs P. Basic income: a simple and powerful idea for the twenty-first century. *Politics and Society*, 2004, vol. 32, no. 1, pp. 7-39. <https://doi.org/10.1177/0032329203261095>
19. Gusakov V. G., Shpak A. P. Agro-industrial complex of Belarus in the context of transformational economy. *Belorusskii ekonomicheskii zhurnal = Belarusian Economic Journal*, 2018, no. 4, pp. 54-64 (in Russian).
20. Gusakov V. G. *Factors and methods of effective management*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 56 p. (in Russian).
21. Mikulich A. V. *The mechanism of labour motivation in agriculture in the new conditions: theory, methodology, practice*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2011. 273 p. (in Russian).
22. Starovoitova N. A. *Formation and use of income of agricultural commodity producers*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2009. 193 p. (in Russian).
23. Borisenko A. O. *Labor motivation of management personnel in agricultural organizations: theoretical and practical aspects*. Minsk, The Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, 2015. 185 p. (in Russian).
24. Balakireva T. S. Features of the migration behaviour of youth of villages and small towns of Belarus. *Sotsiologicheskii al'manakh* [Sociological Almanac], 2013, iss. 4, pp. 347-351 (in Russian).
25. Lavrukhnina E. A. Paradoxes of agrarian colleges graduates job placement. *Vyshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, 2011, no. 2, pp. 126-130 (in Russian).

26. Drobot E. V., Makarov I. N., Zhuravleva O. V., Nersisyan A. M. Features of attracting the young professionals and negative trends in the Russian labour market. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 7, no. 3, pp. 253-266 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.7.3.100709>
27. Ushachev I., Ereemeev V., Zhukov N. Agricultural personnel: deficit in excess. *APK: ekonomika, upravlenie = AIC: Economics, Management*, 2017, no. 2, pp. 15-26 (in Russian).
28. Bliznyuk V. V., Yurik Ya. I. Educational and qualificalational disproportions of Ukraine's regional labor market. *Ekonomika i prognozuvannya = Economic and Forecasting*, 2019, no. 2, pp. 101-119 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/eip2019.02.101>
29. Gun'ko N. N., Dinukova O. A., Vishnever V. Ya. About the problems of balance in the labour market. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 7, no. 3, pp. 211-220 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.7.3.100677>
30. Trapyanok N. G., Dubezhinskii E. V., Vil'dflush E. I. *Social expectations of employers and life plans of graduates. Information and analytical bulletin of the UO "BSAA"*, no. 4 (69). Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2016. 40 p. (in Russian).
31. Bafanov A. P. The ways of enhancing the prestige of working professions. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem = Russian Journal of Education and Psychology*, 2013, no. 5. <http://dx.doi.org/10.12731/2218-7405-2013-5-17>
32. Dmitrieva L. I., Borisova A. A. Value orientations in employment: key indicators of HR-brand. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 1523-1532 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41192>
33. Kafidov V. V. Socio-economic factors and the prestige of the profession. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami = Management of Economic Systems*, 2017, no. 7 (101). Available at: <http://uecs.ru/ekonomicheskaya-bezopasnost/item/4496-2017-07-19-08-24-30> (accessed ) (in Russian).
34. Tsygankova I. V., Potudanskaya V. F., Yang Ziwei. Motivation factors of the youngsters in choosing a profession. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 1545-1554 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.6.4.41349>
35. Chernovolenko V. F., Ossovskii V. L., Paniotto V. I. *The prestige of professions and the problems of social and vocational guidance of young people: the experience of sociological research*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1979. 214 p. (in Russian).
36. Shumakov Yu. N., Tushkanov M. P. Increase in prestige of agricultural work - an important condition of agricultural development. *Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii = Economics of Agriculture of Russia*, 2018, no. 3, pp. 23-27 (in Russian).
37. Nikulina Yu. N. Young people on the labour market of the region: current issues of employment. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 6, no. 2, pp. 747-762 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.6.2.40780>
38. Zhernov E. E., Nekhoda E. V., Redchikova N. A. Ethical aspects of the concept of creating shared values. *Rossiiskoe predprinimatel'stvo = Russian Journal of Entrepreneurship*, 2018, vol. 19, no. 12, pp. 4077-4091 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/rp.19.12.39630>
39. Mel'nikova L. N. The aims and methods of share value creation concept implication in the perspective of labor. *Ekonomika truda = Russian Journal of Labor Economics*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 15-22 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/et.6.1.39770>
40. Dubezhinskii E. V., Trapyanok N. G., Vil'dflush E. I. *Agroclasses - a new reality. Information and analytical bulletin of the UO "BSAA"*, no. 1. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2020. 35 p. (in Russian).
41. Pashkevich O. A. Agricultural heritage: origins, realities, future. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2020, no. 9 (211), pp. 37-42 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-9-37-42>
42. Dubezhinskii E. V., Trapyanok N. G., Vil'dflush E. I. *Targeted training of specialists for agribusiness organizations. Information and analytical bulletin of the UO "BSAA"*, no. 3. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2019. 47 p. (in Russian).
43. Pashkevich O. A., Levkina V. O. A new quality of labour potential in the agrarian branch: prerequisites of formation. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2020, no. 1, pp. 5-10 (in Russian).
44. Pashkevich O. A., Levkina V. O. The structure and dynamics of population income as a factor in regulation of agrarian labour market equilibrium. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2020, no. 2, pp. 38-46 (in Russian).

### Информация об авторе

Пашкевич Ольга Александровна – кандидат экономических наук, доцент, зав. сектором трудовых и социальных отношений, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [volha.pashkevich@yahoo.se](mailto:volha.pashkevich@yahoo.se). <http://orcid.org/0000-0001-5125-4359>

### Information about author

Volha A. Pashkevich - Ph.D. (Economics), Associate Professor. The Institute of System Researches in Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103 Kazintsa Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: [volha.pashkevich@yahoo.se](mailto:volha.pashkevich@yahoo.se). <http://orcid.org/0000-0001-5125-4359>

**ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА**  
**AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION**

УДК 633.321:631.531.02(470.51)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-178-185>

Поступила в редакцию 05.03.2020  
Received 05.03.2020

**Н. И. Касаткина<sup>1</sup>, Ж. С. Нелюбина<sup>1</sup>, И. Ш. Фатыхов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук,  
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

<sup>2</sup>Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

**ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И СПОСОБА ПОСЕВА НА СЕМЕННУЮ  
ПРОДУКТИВНОСТЬ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В СРЕДНЕМ ПРЕДУРАЛЬЕ**

**Аннотация:** Семеноводство многолетних бобовых трав, в том числе и клевера лугового (*Trifolium pratense*), осложняется природно-климатическими условиями региона. В Среднем Предуралье только 2–3 года из десяти оказываются благоприятными для производства семян трав. Оценка влияния гидротермического режима вегетационного периода, способа посева проведена в экспериментальном севообороте Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН на семенном травостое клевера лугового диплоидного сорта Пеликан и Трио, тетраплоидного сорта Кудесник. Выявлено, что семенная продуктивность клевера лугового на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в большей степени зависит от сложившихся гидротермических режимов вегетационных периодов и от плоидности возделываемого сорта. Относительно высокая урожайность семян сорта Пеликан (2n) 444–593 кг/га и сорта Кудесник (4n) 101–116 кг/га формировалась в условиях недостаточной и оптимальной влагообеспеченности вегетационного периода с ГТК 0,67–1,41. При избыточной влагообеспеченности вегетационного периода с ГТК 1,56–1,69 урожайность семян сорта Трио (2n) уменьшилась до 251–328 кг/га, сорта Кудесник (4n) – до 77–91 кг/га. В одинаковых по гидротермическому режиму условиях вегетации сорт клевера Кудесник формировал относительно большее количество стеблей и головок, однако по продуктивности головки значительно уступал диплоидным сортам, что в конечном итоге отражалось на его семенной продуктивности. Посев диплоидных сортов клевера лугового Пеликан и Трио обычным рядовым способом (15 см), тетраплоидного сорта Кудесник широкорядным способом (30 см) позволил повысить урожайность семян и тем самым нивелировать негативное воздействие погодных факторов. Изучение особенностей формирования семян, различающихся по плоидности, сортов клевера лугового в контрастных агрометеорологических условиях могут представлять интерес при разработке способов оптимизации их семенной продуктивности.

**Ключевые слова:** клевер луговой, дерново-подзолистая среднесуглинистая почва, способ посева, семеноводство, семенная продуктивность, структура урожайности, биологическая урожайность, тетраплоидные сорта, диплоидные сорта, гидротермический коэффициент, корреляция

**Для цитирования:** Касаткина, Н. И. Влияние погодных условий и способа посева на семенную продуктивность клевера лугового в среднем Предуралье / Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбина, И. Ш. Фатыхов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 178–185. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-178-185>

**Nadezhda I. Kasatkina<sup>1</sup>, Zhanna S. Nelyubina<sup>1</sup>, Il'dus Sh. Fatykhov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Izhevsk State Agricultural Academy”,  
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

**IMPACT OF WEATHER CONDITIONS AND SOWING METHOD ON SEED PERFORMANCE  
OF MEADOW CLOVER IN THE MIDDLE URALS**

**Abstract:** Seed production of perennial leguminous herbs, including meadow clover (*Trifolium pratense*), is complicated due to the natural and climatic conditions of the region. In Middle Urals, only two to three years out of ten are favorable for seed production. Estimation of influence of the hydrothermal regime of the growing season and the sowing method has been

carried out in the experimental crop rotation of the Udmurt Research Institute of Agriculture, UdmFRC Ural Branch of the RAS with the seed grass stand of meadow diploid clover varieties Pelican and Trio, tetraploid variety Kudesnik. It has been revealed that seed productivity of meadow clover on sod-podzolic medium loamy soil was more dependent on the prevailing hydrothermal regimes of vegetation periods, as well as on the variety's ploidy. A relatively high seeds yield of the Pelican variety (2n) 444–593 kg/ha and Kudesnik variety (4n) 101–116 kg/ha was formed under conditions of insufficient and optimal moisture supply of the vegetation period with a hydrothermal coefficient of 0.67–1.41. With increase in hydrothermal coefficient  $p$  to 1.56–1.69, the seeds yield of the Trio variety (2n) decreased to 251–328 kg/ha, of the Kudesnik variety (4n) – to 77–91 kg/ha. Under the same conditions, according to the hydrothermal regime of vegetation, the Kudesnik clover variety formed a relatively larger number of stems and heads, however, the heads productivity was significantly inferior to diploid varieties, which ultimately affected its seed productivity. Sowing diploid varieties of meadow clover Pelican and Trio in the usual ordinary way (15 cm), tetraploid variety Kudesnik in a wide-row way (30 cm) allowed increasing seeds yield and thereby neutralizing the negative impact of weather factors. Study of the seed formation features of meadow clover varieties differing in ploidy in contrasting agrometeorological conditions may be of interest in developing methods for optimizing their seed productivity.

**Keywords:** meadow clover, sod-podzolic medium loamy soil, sowing method, seed production, seed performance, yield structure, biological yield, tetraploid varieties, diploid varieties, hydrothermal coefficient, correlation

**For citation:** Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Fatykhov I. Sh. Impact of weather conditions and sowing method on seed performance of meadow clover in the Middle Urals. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 178–185 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-178-185>

**Введение.** Многолетние бобовые травы являются ведущей группой культур, имеющих важнейшее экологическое, агротехническое и хозяйственное значение. Однако роль, которая отводится им в сельскохозяйственном производстве как в создании кормовой базы, так и в биологизации земледелия может быть выполнена только при достаточном обеспечении семенами, т. е. при хорошо налаженном семеноводстве. Клевер луговой является основной многолетней бобовой культурой в Среднем Предуралье, занимает более 50 % посевов трав [1]. Природно-климатические условия данного региона благоприятны для возделывания клевера на кормовые цели. В то же время выявлено, что только 2–3 года из десяти оказываются благоприятными для производства семян [1–5].

Нивелирование негативного воздействия погодных факторов возможно за счет корректировки и усовершенствования технологии возделывания [6–12]. Многие исследователи [13–15] утверждают, что во влажные годы широкорядный посев клевера лугового обеспечивает более высокую урожайность семян, чем обычный рядовой. Это связано с тем, что на широкорядном посеве растения имеют более короткий и прочный стебель, травостой не полегает или полегает незначительно. Равномернее проходит цветение, создаются благоприятные условия для насекомых-опылителей. В разреженных посевах повышается качество семенного материала, отмечается четкая тенденция к увеличению массы 1000 семян. По мнению других ученых [16–18], многолетние бобовые травы широкорядным способом надо высевать главным образом для быстрого размножения дефицитных перспективных сортов в первичном семеноводстве. В засушливые годы в широкорядном посеве травостой сильно изреживается, побегообразование и развитие генеративных частей практически не отличается от обычного рядового, а урожайность становится даже меньше. Следует также учитывать, что тетраплоидные сорта клевера лугового, полученные на основе полиплоидии, отличаются существенными морфологическими и физиологическими признаками [5], что обуславливает некоторые особенности их семеноводства по сравнению с возделыванием семян диплоидных сортов.

Цель исследования – оценить влияние погодных условий вегетационного периода и способа посева на урожайность семян, ее структуру сортов клевера лугового разной плоидности.

Задачи исследований: определить урожайность семян ди- и тетраплоидных сортов клевера лугового, структуру урожайности при разных способах посева; установить корреляционную связь урожайности с метеорологическими условиями.

**Материалы и методы исследования.** Оценку влияния погодных условий вегетационного периода на урожайность семян клевера лугового выполняли на основе анализа результатов исследований, проведенных в Удмуртском НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН: в 1996–1997 гг. изучали влияние способа посева на семенную продуктивность клевера лугового сорта Пеликан (2n), в 1999–2000 гг. – сорта Трио (2n), в 2014–2016 гг. – сорта Кудесник (4n). При проведении исследований



были использованы общепринятые методические указания<sup>1</sup>. Полученные экспериментальные данные подвергнуты статистической обработке методом дисперсионного анализа, алгоритмы которых изложены Б. А. Доспеховым<sup>2</sup> и соотнесены с результатами исследований других ученых.

Все изучаемые сорта клевера лугового включены в Госреестр по Волго-Вятскому (4) региону Российской Федерации: Пеликан (диплоидный, двуукосный) – с 1992 г., Трио (диплоидный, двуукосный) – с 1995 г., Кудесник (тетраплоидный, двуукосный) – с 2002 г. Технология возделывания сортов клевера лугового в опытах построена на основе рекомендаций, разработанных научными учреждениями для Нечерноземной зоны России [13, 19, 20]. Посев ранневесенний под покров яровых зерновых культур, норма высева при обычном рядовом посеве – 4,0 млн шт., при широкорядном – 3,0 млн шт. всхожих семян на 1 га. Учет семенной продуктивности проводили однофазно в III декаде августа – I декаде сентября при побурении 90–95 % головок клевера.

Полевые опыты были заложены на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями:  $pH_{KCl}$  4,8–5,9, гумус – 1,9–2,4 %, подвижный фосфор – 201–430 мг на 1 кг почвы, обменный калий – 160–315 мг на 1 кг почвы.

Для оценки условий увлажнения вегетационных периодов использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. Метеорологические условия в годы исследований были различными. Из семи лет исследований влагообеспеченность вегетационного периода двух (1996, 2016) лет была охарактеризована как недостаточная, ГТК – 0,67–0,69; двух (1997, 2014) лет – оптимальная, ГТК – 1,20–1,41; трех (1999, 2000, 2015) лет – избыточная, ГТК – 1,56–1,69.

**Результаты и их обсуждение.** В ходе изучения семенной продуктивности диплоидных сортов клевера лугового Пеликан и Трио (2n) в 1996–2000 гг. выявлено, что время перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °C определяет их отрастание. Так, в 1997 г. апрель был холодным, в связи с этим отрастание диплоидных сортов клевера началось только в I декаде мая. В раннюю весну 1999 и 2000 гг. возобновление вегетации наблюдали во II декаду апреля. Самые неблагоприятные условия в период уборки были в 1999 и 2000 гг., когда за I декаду августа выпало 57,0 и 52,2 мм соответственно при норме 18 мм. В среднем за годы исследований продолжительность вегетационного периода составила 101 сут при сумме положительных температур 1644 °C, среднесуточной температуре воздуха 16,6 °C, сумме осадков 190 мм (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Агрометеорологические условия по фазам вегетации ди- и тетраплоидных сортов клевера лугового, экспериментальный севооборот Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН, 1996–2016 гг.

T a b l e 1. Agrometeorological conditions according to phases of vegetation of meadow clover of di- and tetraploid varieties, experimental crop rotation of the Udmurt Research Institute of Agriculture, UdmFITS UB RAS, 1996–2016

Фаза вегетации	Продолжительность, сут	Температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	ГТК
		сумма	среднесуточная		
Клевер луговой сорта Пеликан и сорта Трио (2n), 1996–2000 гг.					
Отрастание – ветвление	32 (17–42)	313	10,4	48	0,4
Ветвление – бутонизация	18 (6–25)	336	15,6	39	1,3
Бутонизация – цветение	8 (4–12)	172	20,1	22	3,6
Цветение – побурение головок	43 (37–50)	823	18,8	103	2,9
Вегетационный период	101 (81–119)	1644	16,2	190	
Клевер луговой сорта Кудесник (4n), 2014–2016 гг.					
Отрастание – ветвление	34 (30–39)	340	10,0	25	0,6
Ветвление – бутонизация	15 (14–16)	226	15,1	24	1,4
Бутонизация – цветение	8 (5–10)	169	21,1	30	1,9
Цветение – побурение головок	66 (58–80)	1225	18,6	161	1,3
Вегетационный период	123 (114–132)	1960	16,2	240	

<sup>1</sup> Методические указания по проведению исследований в семеноводстве многолетних трав / ВНИИ кормов. М. : [б. и.], 1986. 136 с. ; Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / РАСХН. М. : [б. и.], 1997. 156 с.

<sup>2</sup> Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник / Б. А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.



Фенологические наблюдения за развитием клевера лугового Кудесник (4n) в 2014–2016 гг. показали, что весеннее отрастание растений начиналось во II–III декаде апреля. Наиболее продолжительным (66 сут у сорта Кудесник) был период цветения – побурение головок с суммой температур 1225 °С, среднесуточной температурой 18,6 °С и количеством осадков 161 мм. Дожди в I декаде августа влияли на продолжительность данного периода и качество проведения уборки клевера. Самые неблагоприятные условия в период уборки были в 2014 г., когда к концу августа было отмечено начало фазы побурения 70–75 % головок, однако из-за осадков (ГТК – 2,22–2,77) в это же время началось бурное повторное цветение клевера и активное формирование новых головок. В среднем за годы исследований клевер луговой сорта Кудесник имел продолжительность периода от возобновления вегетации до уборки на семена 123 сут при сумме положительных температур 1960 °С, среднесуточной температуре воздуха 16,2 °С и сумме осадков 240 мм.

По мнению многих исследователей [1, 21–27], на семенную продуктивность многолетних трав в год сбора урожая влияют два универсальных фактора – продолжительность вегетационного периода и количество осадков, в то время как температурные параметры складываются сравнительно благоприятно. В ходе наших исследований установлена прямая средняя ( $r = 0,49–0,66$ ) корреляционная связь урожайности семян клевера лугового Трио (2n) с продолжительностью фазы цветения, со среднесуточной температурой воздуха, с суммой положительных температур и обратная средняя корреляция ( $r = -0,53$ ) урожайности с суммой осадков.

По мнению ряда ученых [21, 27], относительно высокая урожайность семян многолетних бобовых трав формируется, когда ГТК вегетационного периода не превышает 1,3–1,6 ед. При увеличении ГТК растения испытывают недостаток тепла. В наших исследованиях в условиях недостаточной влагообеспеченности (ГТК – 0,69) вегетационного периода 1996 г. способ посева не повлиял на урожайность семян клевера лугового сорта Пеликан (2n). При посеве обычным рядовым способом урожайность семян составила 444 кг/га (биологическая урожайность 65,8 г/м<sup>2</sup>) при формировании 339 шт/м<sup>2</sup> стеблей, 1219 шт/м<sup>2</sup> головок, 29 шт. семян в головке с массой 0,054 г. При посеве клевера Пеликан ширококормным способом урожайность была 504 кг/га (биологическая урожайность 71,0 г/м<sup>2</sup>) при густоте стеблестоя на 373 шт/м<sup>2</sup>, количестве семян в головке – 32 шт. и массе семян в головке – 0,059 г. В засушливых условиях вегетационного периода 2016 г. (ГТК – 0,67) наибольшая урожайность семян 116 кг/га клевера лугового Кудесник (4n) получена при посеве обычным рядовым способом, что на 5 кг/га при НСР<sub>05</sub> – 3 кг/га выше урожайности на ширококормном посеве. Выявлено, что в одинаковых по гидротермическому режиму условиях вегетации тетраплоидный сорт клевера формировал оптимальное количество стеблей 453–524 шт/м<sup>2</sup> и соцветий 962–966 шт/м<sup>2</sup>. Однако по таким элементам структуры урожайности, как количество семян в головке (4 шт.), масса семян в головке (0,011–0,012 г), сорт клевера Кудесник значительно уступал диплоидному сорту Пеликан, что в конечном итоге сказалось на биологической урожайности 11,6 г/м<sup>2</sup> тетраплоидного сорта (табл. 2).

В условиях оптимальной влагообеспеченности вегетационного периода 1997 г. (ГТК – 1,41) фактическая (532–593 кг/га) и биологическая (91,2–105,8 г/м<sup>2</sup>) урожайность семян клевера Пеликан по сравнению с предыдущим годом была выше за счет формирования более высокой продуктивности головки: количество семян – 41–44 шт., масса 1000 семян – 1,95–1,99 г, масса семян в головке – 0,080–0,086 г. Наибольшая урожайность 593 кг/га получена при посеве обычным рядовым способом, что на 61 кг/га (НСР<sub>05</sub> – 42 кг/га) выше урожайности на ширококормном посеве. По тетраплоидному сорту Кудесник при достаточной влагообеспеченности вегетационного периода 2014 г. (ГТК – 1,38) относительно наибольшая урожайность семян 115 кг/га (или на 15 кг/га выше при НСР<sub>05</sub> – 8 кг/га) получена на ширококормном посеве за счет увеличения до 10 шт. семян в головке, 2,38 г массы 1000 семян и 0,023 г массы семян в головке. Биологическая урожайность составила 14,3–15,0 г/м<sup>2</sup>.

При избыточной влагообеспеченности вегетационного периода 1999 г. с ГТК – 1,69 урожайность семян клевера Трио (2n) на обычном рядовом посеве составила 328 кг/га, что на 77 кг/га (НСР<sub>05</sub> – 46 кг/га) выше урожайности, полученной на ширококормном посеве. В 2000 г. с ГТК – 1,56 урожайность на обычном рядовом посеве составила 308 кг/га, что на уровне показателя при ширококормном способе посева. Биологическая урожайность в зависимости от способа посева отличалась незначительно, в 1999 г. – 87,5 и 90,8 г/м<sup>2</sup>, в 2000 г. – 59,7 и 58,0 г/м<sup>2</sup>. В то же время в 2015 г. с ГТК – 1,67 у клевера тетраплоидного Кудесник урожайность семян 91 кг/га при ширококормном способе посева была на 15 кг/га при НСР<sub>05</sub> – 11 кг/га выше урожайности, полученной на обычном рядовом посеве, при формировании 452 шт. стеблей, 1522 шт. головок на 1 м<sup>2</sup>.

**Т а б л и ц а 2. Влияние гидротермического коэффициента и способа посева на урожайность семян и структуру урожайности ди- и тетраплоидных сортов клевера лугового, экспериментальный севооборот Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН, 1996–2016 гг.**

**Table 1. Effect of hydrothermal coefficient and method of sowing on seed yield and yield structure of di- and tetraploid varieties, experimental crop rotation of the Udmurt Research Institute of Agriculture, UdmFITS UB RAS, 1996-2016**

Способ посева	Густота стеблестоя, шт/м <sup>2</sup>	Головок, шт/м <sup>2</sup>	Семян в головке, шт.	Масса 1000 семян, г	Масса семян в головке, г	Урожайность, кг/га
<b>Недостаточная влагообеспеченность</b>						
<i>1996 г., сорт Пеликан (2n), ГТК – 0,69</i>						
Обычный рядовой (15 см)	339	1219	29	1,83	0,054	444
Ширококорядный (30 см)	373	1203	32	1,80	0,059	504
НСР <sub>05</sub>	30	83		$F_{\phi} < F_{\tau}$		72
<i>2016 г., сорт Кудесник (4n), ГТК – 0,67</i>						
Обычный рядовой (15 см)	453	966	4	2,73	0,012	116
Ширококорядный (30 см)	524	962	4	2,78	0,011	111
НСР <sub>05</sub>	16	25		0,03		3
<b>Оптимальная влагообеспеченность</b>						
<i>1997 г., сорт Пеликан (2n), ГТК – 1,41</i>						
Обычный рядовой (15 см)	246	1230	44	1,99	0,086	593
Ширококорядный (30 см)	283	1140	41	1,95	0,080	532
НСР <sub>05</sub>	13	408		$F_{\phi} < F_{\tau}$		42
<i>2014 г., сорт Кудесник (4n), ГТК – 1,38</i>						
Обычный рядовой (15 см)	246	713	9	2,37	0,021	101
Ширококорядный (30 см)	241	624	10	2,38	0,023	115
НСР <sub>05</sub>	19	66		$F_{\phi} < F_{\tau}$		8
<b>Избыточная влагообеспеченность</b>						
<i>1999 г., сорт Трио (2n), ГТК – 1,69</i>						
Обычный рядовой (15 см)	266	875	53	1,89	0,100	328
Ширококорядный (30 см)	310	1149	44	1,77	0,079	251
НСР <sub>05</sub>	126	550		0,03		46
<i>2000 г., сорт Трио (2n), ГТК – 1,56</i>						
Обычный рядовой (15 см)	412	995	37	1,62	0,060	308
Ширококорядный (30 см)	436	1054	30	1,81	0,055	276
НСР <sub>05</sub>	50	514		0,05		40
<i>2015 г., сорт Кудесник (4n), ГТК – 1,67</i>						
Обычный рядовой (15 см)	432	1481	2	2,58	0,005	77
Ширококорядный (30 см)	452	1522	2	2,58	0,006	91
НСР <sub>05</sub>	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$		$F_{\phi} < F_{\tau}$		6

На густоту стеблей и количество головок семенного травостоя клевера лугового повлияли как погодные условия, так и агротехнические мероприятия (сорт и способ посева). У диплоидных сортов наибольшее количество стеблей (412–436 шт/м<sup>2</sup> в 2000 г., сорт Трио) сформировалось при избыточной влагообеспеченности, головок (1203–1219 шт/м<sup>2</sup> в 1996 г., сорт Пеликан) – при недостаточной влагообеспеченности. У тетраплоидного сорта Кудесник, наоборот, наибольшее количество стеблей (453–524 шт/м<sup>2</sup>) отмечено в 2016 г. при недостаточной влагообеспеченности, головок (1481–1522 шт/м<sup>2</sup>) – в 2015 г. при избыточной влагообеспеченности. Ширококорядный посев способствовал формированию большего количества стеблей и головок у изучаемых сортов клевера.

Высокие показатели продуктивности головки отмечали в годы исследования с оптимальной влагообеспеченностью. Посев тетраплоидного сорта клевера Кудесник ширококорядным способом способствовал увеличению таких показателей, как количество семян в головке, масса 1000 семян и масса семян в головке.

**Заклучение.** На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Среднего Предуралья исследование семенной продуктивности, элементов структуры урожайности разных сортов клевера лугового в зависимости от погодных условий вегетационных периодов, способа посева показали, что изучаемые показатели в большей степени зависели от сложившихся гидротермических режимов вегетационных периодов и от плоидности сорта. Относительно высокая урожайность семян как диплоидного сорта Пеликан, так и тетраплоидного сорта Кудесник, формировалась в условиях недостаточной и оптимальной влагообеспеченности вегетационного периода при ГТК 0,67–1,41. При увеличении ГТК до 1,56–1,69 урожайность семян клевера лугового уменьшалась из-за снижения продуктивности головки. В одинаковых по гидротермическому режиму условиях вегетации тетраплоидный сорт клевера Кудесник формировал относительно большее количество стеблей и головок, однако по другим показателям: количество семян в головке, масса семян в головке, значительно уступал диплоидным сортам, что в конечном итоге отражалось на его семенной продуктивности. Установлена прямая средняя корреляционная связь урожайности семян с продолжительностью фазы цветения, со среднесуточной температурой воздуха, суммой положительных температур и обратная средняя корреляция урожайности с суммой осадков. Посев диплоидных сортов клевера лугового обычным рядовым способом (15 см), тетраплоидного сорта широкорядным способом (30 см) позволил повысить величины изученных показателей и тем самым нивелировать негативное воздействие погодных факторов. Изучение особенностей формирования семян различающихся по плоидности сортов клевера лугового в контрастных агрометеорологических условиях могут представлять интерес при разработке способов оптимизации их семенной продуктивности.

#### Список использованных источников

1. Золотарев, В. Н. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе / В. Н. Золотарев, В. М. Косолапов, Н. И. Переправо // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 1 (56). – С. 28–34.
2. Золотарев, В. Н. Адаптивно-экологическое районирование товарного семеноводства клевера лугового и люцерны / В. Н. Золотарев, Н. И. Переправо, Т. В. Козлова // Инновационные технологии адаптивно-ландшафтного земледелия : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Суздаль, 29–30 июня 2015 г.) / Владимир. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва ; редкол.: Л. И. Ильин [и др.]. – Суздаль, 2015. – С. 380–385.
3. Зезин, Н. Н. Научное обеспечение кормопроизводства в Уральском федеральном округе / Н. Н. Зезин, Н. В. Мальцев // Кормопроизводство. – 2016. – № 2. – С. 3–6.
4. Акманаев, Э. Д. Влияние абиотических условий на урожайность одноукосного и двухукосного сортов клевера лугового в среднем Предуралье / Э. Д. Акманаев, А. С. Богатырева // Перм. аграр. вестн. – 2017. – № 1 (17). – С. 12–17.
5. Нагибин, А. Е. Травы в системе кормопроизводства / А. Е. Нагибин, М. А. Тормозин, А. А. Зырянцева. – Екатеринбург : Урал. рабочий, 2018. – 783 с.
6. Параметры экологической пластичности и стабильности сортообразцов клевера лугового в условиях Смоленской области / Т. А. Дыцкова [и др.] // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2015. – № 11-6 (42). – С. 56–60. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.060>
7. Черенков, А. В. Влияние погодных условий и предшественников на зимостойкость различных сортов пшеницы озимой в условиях северной степи Украины / А. В. Черенков, Н. С. Пальчук // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 1. – С. 69–73.
8. Дыцкова, Т. А. Семенная продуктивность тетраплоидных сортов клевера лугового в зависимости от нормы высевы семян / Т. А. Дыцкова, О. В. Курдакова, С. В. Иванова // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования : сб. ст. I Междунар. науч.-практ. Интернет-конф., 29 февр. 2016 г., с. Соленое Займище / Прикасп. науч.-исслед. ин-т арид. земледелия. – Соленое Займище, 2016. – С. 2533–2536.
9. Полюдина, Р. И. Клевер в Сибири / Р. И. Полюдина ; под общ. ред. Н. И. Кашеварова. – Новосибирск : СФНЦА РАН, 2017. – 347 с.
10. Бакаева, Н. П. Влияние погодных условий, систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы / Н. П. Бакаева // Изв. Самар. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 4. – С. 12–19. <https://doi.org/10.12737/33173>
11. Золотарев, В. Н. Травосеяние и семеноводство многолетних трав как фактор повышения эффективности кормопроизводства / В. Н. Золотарев // Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства : материалы Юбилейн. нац. науч.-практ. конф., Рязань, 20–21 февр. 2019 г. / Ряз. гос. агро-технол. ун-т. – Рязань, 2019. – С. 139–144.
12. Полюдина, Р. И. Изучение сортов клевера лугового различного типа спелости и плоидности / Р. И. Полюдина, М. Ю. Новоселов // Адаптив. кормопроизводство. – 2019. – № 2. – С. 17–25. <https://doi.org/10.33814/AFR-2222-5366-2019-2-17-25>
13. Вятские клевера / Н. П. Киселев [и др.]. – Киров : Вятка, 1995. – 276 с.
14. Коновалова, Н. Ю. Эффективные технологические приемы формирования семенных посевов многолетних бобовых трав в условиях Европейского Севера РФ / Н. Ю. Коновалова, С. С. Коновалова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 1. – С. 36–38.

15. Изучение различных агроприёмов для повышения семенной продуктивности тетраплоидного клевера лугового / М. Ю. Новосёлов [и др.] // Кормопроизводство. – 2019. – № 11. – С. 32–36.
16. Волошин, В. А. Вопросы полевого кормопроизводства в Предуралье / В. А. Волошин. – Пермь : ОТ и ДО, 2012. – 379 с.
17. Переправо, Н. И. Семеноводство многолетних трав в России: состояние, проблемы и перспективы / Н. И. Переправо, О. В. Трухан // Кормопроизводство в Сибири: достижения, проблемы, стратегия развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., 31 июля – 1 авг. 2014 г. / Сиб. науч.-исслед. ин-т кормов [и др.]. – Новосибирск, 2014. – С. 121–128.
18. Султанов, Ф. С. Технология возделывания клевера лугового в условиях Прибайкалья / Ф. С. Султанов, О. Б. Габдрахимов // Вестн. ИрГСХА. – 2015. – № 66. – С. 19–24.
19. Зубарев, Ю. Н. Адаптивные приемы возделывания клевера лугового раннеспелого биотипа на семена в Предуралье / Ю. Н. Зубарев, И. Ш. Фатыхов, Н. И. Касаткина – Пермь : ПГСХА, 2001. – 103 с.
20. Касаткина, Н. И. Приёмы возделывания многолетних бобовых трав в Среднем Предуралье / Н. И. Касаткина, И. Ш. Фатыхов. – Ижевск : Ижев. ГСХА, 2008. – 243 с.
21. Иванов, Д. А. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтных условиях Нечерноземья / Д. А. Иванов, Н. Е. Рубцова. – Тверь ; Киров : НИИСХ, 2007. – 355 с.
22. Зарьянова, З. А. Сопряженность семенной продуктивности клевера лугового с его хозяйственными, биологическими и морфологическими признаками / З. А. Зарьянова, С. В. Кирюхин // Образование, наука и пр-во. – 2014. – № 2 (7). – С. 88–91.
23. Акманаев, Э. Д. Адаптивность позднеспелого и раннеспелых сортов клевера лугового на семена в Среднем Предуралье [Электронный ресурс] / Э. Д. Акманаев, С. Л. Елисеев // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 2 (28). – Режим доступа: [agroecoinfo.ru/index\\_en.html](http://agroecoinfo.ru/index_en.html). – Дата доступа: .
24. Скалозуб, О. М. Агроэкологическое испытание сортов клевера лугового в условиях степной зоны Приморского края / О. М. Скалозуб, А. И. Емельянов // Кормопроизводство. – 2017. – № 3. – С. 30–33.
25. Акманаев, Э. Д. Формирование урожайности одноукосного и двухукосного клевера лугового в зависимости от агрометеорологических условий / Э. Д. Акманаев // Перм. аграр. вестн. – 2018. – № 3 (23). – С. 30–34.
26. Бушуева, В. И. Результаты селекции клевера лугового различных групп спелости / В. И. Бушуева, Л. И. Ковалевская // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 4. – С. 90–98.
27. Корелина, В. А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях субарктической зоны РФ / В. А. Корелина // Адаптив. кормопроизводство. – 2019. – № 2. – С. 40–47. <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47>

## References

1. Zolotarev V. N., Kosolapov V. M., Perepravo N. I. The state of grass planting and prospects for the development of seed production of perennial grasses in Russia and the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2017, no. 1 (56), pp. 28–34 (in Russian).
2. Zolotarev V. N., Perepravo N. I., Kozlova T. V. Adaptive-ecological zoning of commodity seed production of meadow clover and alfalfa. *Innovatsionnye tekhnologii adaptivno-landshaftnom zemledelii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Suzdal', 29-30 iyunya 2015 g.)* [Innovative technologies of adaptive-landscape agriculture: proceedings of the International scientific-practical conference, Suzdal, 29–30 Juli 2015 g.]. Suzdal, 2015, pp. 380–385 (in Russian).
3. Zezin N. N., Mal'tsev N. V. Forage production scientific support in the Ural Federal District. *Kormoproizvodstvo = Fodder Production*, 2016, no. 2, pp. 3–6 (in Russian).
4. Akmanaev E. D., Bogatyreva A. S. Influence of abiotic conditions on the yield of single and double-crop clover meadow in Middle Preduralie. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2017, no. 1 (17), pp. 12–17 (in Russian).
5. Nagibin A. E., Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Grasses in the feed production system. Ekaterinburg, Ural'skii rabochii Publ., 2018. 783 p. (in Russian).
6. Dytskova T. A., Rekashus E. S., Prudnikov A. D., Konova A. M., Kurdakova O. V. Ecological plasticity and stability of the red clover samples in the Smolensk region. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*, 2015, no. 11 (42), pt. 6, pp. 56–60 (in Russian). <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.060>
7. Cherenkov A. V., Pal'chuk N. S. Influence of weather conditions and fore-crops on winter resistance of different varieties of winter wheat in Northern steppe of Ukraine. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2015, no. 1, pp. 69–73 (in Russian).
8. Dytskova T. A., Kurdakova O. V., Ivanova S. V. Seed production of tetraploid varieties of red clover depending on seeding rates of seeds. *Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoi sredy i nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: sbornik statei I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Internet-konferentsii, 29 fevralya 2016 g., s. Solenoe Zaimishche* [Current ecological state of the environment and scientific and practical aspects of environmental management: a collection of articles of the 1st international scientific and practical Internet conference, February 29, 2016, Solyonoye Zaymishche]. Solyonoye Zaymishche, 2016, pp. 2533–2536 (in Russian).
9. Polyudina R. I. *Clover in Siberia*. Novosibirsk, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the RAS, 2017. 347 p (in Russian).
10. Bakaeva N. P. Influence of weather conditions, soil processing systems and fertilizers on the yield and quality structure of spring wheat. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaystvennoi akademii = Bulletin Samara State Agrarian University*, 2019, no. 4, pp. 12–19 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/33173>
11. Zolotarev V. N. Grass cultivation and seed production of perennial grasses as a factor in increasing the efficiency of feed production. *Potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya v reshenii prioritnykh zadach APK i lesnogo khozyaistva:*



materialy Yubileinoi natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Ryazan', 20-21 fevralya 2019 g. [Potential of science and modern education in resolving the priority tasks of AIC and forestry: proceedings of the jubilee national scientific-practical conference, Ryazan, February 20-21, 2019]. Ryazan, 2019. pp. 139-144 (in Russian).

12. Polyudina R. I., Novoselov M. Yu. Study of varieties of red clover different types of ripeness and ploidy. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo = Adaptive Fodder Production*, 2019, no. 2, pp. 17-25 (in Russian). <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-17-25>

13. Kiselev N. P., Kormshchikov A. D., Nikiforova E. V., Prozorova I. N., Prozorov V. A., Kiselev S. N. *Clovers of Vyatka*. Kirov, Vyatka Publ., 1995. 276 p. (in Russian).

14. Konovalova N. Yu., Konovalova S. S. Effective technological methods formation of seed crops of perennial legumes in the conditions of European North of Russia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2011, no. 1, pp. 36-38 (in Russian).

15. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A., Rekashus E. S., Odnovorova A. A. Cultivation practices improving seed productivity of tetraploid red clover. *Kormoproizvodstvo = Fodder Production*, 2019, no. 11, pp. 32-36 (in Russian).

16. Voloshin V. A. *Issues of field fodder production in the Urals*. Perm, OT i DO Publ., 2012. 379 p. (in Russian).

17. Perepravo N. I., Truhan O. V. Seed production of perennial grasses in Russia: state, problems and prospects. *Kormoproizvodstvo v Sibiri: dostizheniya, problemy, strategiya razvitiya: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 31 iyulya - 1 avgusta 2014 g.* [Feed production in Siberia: achievements, problems, development strateg: materials of the international scientific-practical conference, July 31 - August 1, 2014]. Novosibirsk, 2014. pp. 121-128 (in Russian).

18. Sultanov F. S., Gabdrakhimov O. B. Technology of meadow clover cultivation under Pre-Baikal conditions. *Vestnik IrGSKhA = Vestnik IRGSHA*, 2015, no. 66, pp. 19-24 (in Russian).

19. Zubarev Yu. N., Fatykhov I. Sh., Kasatkina N. I. *Adaptive methods of cultivation of meadow clover of an early ripening biotype for seeds in the Urals*. Perm, Perm State Agricultural Academy, 2001. 103 p. (in Russian).

20. Kasatkina N. I., Fatykhov I. Sh. *Methods of cultivation of perennial leguminous herbs in the Middle Urals*. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2008. 243 p. (in Russian).

21. Ivanov D. A., Rubtsova N. E. *Adaptive reactions of agricultural plants on the landscape conditions of the Non-Chernozem Territory*. Kirov, Tver, Research Institute of Agriculture, 2007. 355 p. (in Russian).

22. Zar'yanova Z. A., Kiryukhin S. V. The correlation of the seed productivity of meadow clover with its economic, biological and morphological characteristics. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo* [Education, Science and Production], 2014, no. 2 (7), pp. 88-91 (in Russian).

23. Akmanayev E. D., Eliseev S. L. Adaptability is late maturing and early maturing varieties of red clover seeds in the Middle Urals. *AgroEkoInfo = AgroEcoInfo*, 2017, no. 2 (28). Available at: [agroecoinfo.ru/index\\_en.html](http://agroecoinfo.ru/index_en.html) (accessed ) (in Russian).

24. Skalozub O. M., Emel'yanov A. N. Agroecological trial of red clover varieties in the steppe of the Primorye territory. *Kormoproizvodstvo = Fodder Production*, 2017, no. 3, pp. 30-33 (in Russian).

25. Akmanayev E. D. Yield formation of single- and double crop red clover depending on agrometeorological conditions. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2018, no. 3 (23), pp. 30-34 (in Russian).

26. Bushueva V. I., Kovalevskaya L. I. Results of selection of meadow clover of different maturity groups. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2019, no. 4, pp. 90-98 (in Russian).

27. Korelina V. A. Influence of abiotic factors on seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in subarctic conditions of the Russian Federation. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo = Adaptive Fodder Production*, 2019, no. 2, pp. 40-47 (in Russian). <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47>

## Информация об авторах

**Касаткина Надежда Ивановна** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ул. им. Татьяны Барамзиной, 34, 426067 Ижевск, Удмуртская Республика, Россия). E-mail: [ugniish-nauka@yandex.ru](mailto:ugniish-nauka@yandex.ru). <http://orcid.org/0000-0003-0725-2254>

**Нелюбина Жанна Сергеевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ул. им. Татьяны Барамзиной, 34, 426067 Ижевск, Удмуртская Республика, Россия). E-mail: [ugniish-nauka@yandex.ru](mailto:ugniish-nauka@yandex.ru). <http://orcid.org/0000-0001-5751-9557>

**Фатыхов Ильдус Шамилович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Студенческая, 11, 426069 Ижевск, Удмуртская Республика, Россия). E-mail: [agro@izhgsha.ru](mailto:agro@izhgsha.ru). <http://orcid.org/0000-0003-0579-3284>

## Information about authors

**Kasatkina Nadezhda I.** - Ph. D. (Agricultural). Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (34, Str. them. Taniana Baramzina, Izhevsk 426067, Udmurt Republic, Russia). E-mail: [ugniish-nauka@yandex.ru](mailto:ugniish-nauka@yandex.ru). <http://orcid.org/0000-0003-0725-2254>

**Nelyubina Zhanna S.** - Ph. D. (Agricultural). Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (34, Str. them. Taniana Baramzina, Izhevsk 426067, Udmurt Republic, Russia). E-mail: [ugniish-nauka@yandex.ru](mailto:ugniish-nauka@yandex.ru). <http://orcid.org/0000-0001-5751-9557>

**Fatykhov Il'dus Sh.** - D. Sc. (Agricultural), Professor. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Agricultural Academy" (11, Studencheskaja Str., Izhevsk 426069, Udmurt Republic, Russia). E-mail: [agro@izhgsha.ru](mailto:agro@izhgsha.ru). <http://orcid.org/0000-0003-0579-3284>



Т. Н. Мыслыва<sup>1</sup>, Б. В. Шелюто<sup>1</sup>, П. П. Надточий<sup>2</sup>, О. А. Куцаева<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Могилевская область, Беларусь<sup>2</sup>Институт сельского хозяйства Полесья Национальной академии аграрных наук Украины, Житомир, Украина**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С БЛА, ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ БИОМАССЫ *SILPHIUM PERFOLIATUM***

**Аннотация:** Агромониторинг является одним из важнейших источников получения актуальной и оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных культур. Ускорить и удешевить процесс его проведения возможно посредством использования данных дистанционного зондирования (ДДЗ), получаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Оценка возможности использования ДДЗ сверхвысокого разрешения для определения продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* выполнялась с использованием БЛА Phantom-4ProV 2.0. Съемку проводили в режиме RGB, высота съемки – 50 м, пространственное разрешение – 2,5 см. По результатам съемки создавались карта высот и ортомозаика, используемые в дальнейшем для оценки продуктивности растений. Для получения значений высоты растений находили разницу между высотами растительного покрова, полученными из раstra модели поверхности, и минимальной высотой, определенной в пределах раstra. Фактическую высоту растений, измеренную в полевых условиях, сравнивали с данными, полученными с помощью БЛА, затем определяли продуктивность биомассы, рассчитанную по фактической и прогнозной высотам. Коэффициент детерминации для уравнения парной линейной регрессии между фактическим и прогнозным значениями продуктивности составил 0,97, а величина средней ошибки аппроксимации – 3,3 %. Для верификации полученных результатов в пределах территории исследования в полевых условиях отбирали 60 образцов биомассы, длину растений в которых определяли с помощью рулетки, а места отбора образцов координировали с помощью GPS-позиционирования. По откалиброванной ортомозаике на пиксельной основе по нормализованным RGB-каналам определяли 13 вегетационных индексов, из которых четыре (ExG, VARI, WI и EXGR) оказались пригодными для создания прогнозной модели множественной линейной регрессии, позволяющей осуществлять оценку и прогноз продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* в фазу стеблевания с ошибкой, не превышающей 2 %. Результаты исследования могут быть полезны как при разработке методики прогнозирования, так и при непосредственном прогнозировании продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* и других кормовых культур, в частности *Helianthus annuus* и *Helianthus tuberosus*. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного комплекса».

**Ключевые слова:** агромониторинг, сельскохозяйственные культуры, моделирование, прогнозирование, регрессионные модели, дистанционное зондирование, БЛА, вегетационный индекс, продуктивность, биомасса, *Silphium perfoliatum*

**Для цитирования:** Использование данных дистанционного зондирования, полученных с БЛА, для оценки продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* / Т. Н. Мыслыва, Б. В. Шелюто, П. П. Надточий, О. А. Куцаева // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, №2. – С. 186–197. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-186-197>

Tamara N. Myslyva<sup>1</sup>, Branislava V. Sheliuta<sup>1</sup>, Petr P. Nadtochyj<sup>2</sup>, Alesia A. Kutsayeva<sup>1</sup><sup>1</sup>Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus<sup>2</sup>Institute of Agriculture of Polesie NAAS of Ukraine, Kiev highway, Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine**USE OF REMOTE SENSING DATA OBTAINED FROM UAVS TO ASSESS THE BIOMASS PRODUCTIVITY OF *SILPHIUM PERFOLIATUM***

**Abstract:** Agromonitoring is one of the most important sources of obtaining up-to-date and timely information about the state of agricultural crops. It is possible to speed up and reduce the cost of its implementation process using remote sensing data (RSD) obtained with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs). Possibility of using ultra-high-resolution remote sensing to determine productivity of *Silphium perfoliatum* biomass has been evaluated using Phantom-4ProV 2.0 UAV. The shooting was carried out in RGB mode, the shooting height was 50 m, the spatial resolution was 2.5 cm. Based on the results of the survey, a height map and orthomosaic were created, which were later used to assess productivity of plants. To obtain the plant height values, the difference between the vegetation cover heights obtained from the surface model raster and the minimum height determined within the raster has been calculated. The actual height of plants measured in the field was compared with the data obtained using the UAV, and after the biomass productivity calculated from the actual and predicted heights was determined. The determination coefficient for equation of paired linear regression between the actual and predicted values of productivity made 0.97, and the value of the average approximation error was 3.3 %. To verify the results obtained, 60 samples of biomass were taken in the field within the study area, with the length of the plants determined using a tape measure,

and the sampling sites coordinated using GPS positioning. 13 vegetation indices have been determined using pixel-based calibrated orthomosaic and normalized RGB channels, four of which (ExG, VARI, WI, and EXGR) showed to be suitable for creating a predictive model of multiple linear regression, which allows estimating and predicting the productivity of *Silphium perfoliatum* biomass during stemming phase with an error not exceeding 2 %. The results of the study can be useful both in development of prediction methods and in the direct prediction of *Silphium perfoliatum* biomass and other forage crops productivity, in particular *Helianthus annuus* and *Helianthus tuberosus*. Acknowledgments. The research was carried out as part of the state scientific and technical program “Quality and Efficiency of Agroindustrial Complex”.

**Keywords:** agromonitoring, crops, simulation, prediction, regression models, remote sensing, UAV, vegetation index, productivity, biomass, *Silphium perfoliatum*

**For citation:** Myslyva T. N., Sheliuta B. V., Nadtochyj P. P., Kutsayeva A. A. Use of remote sensing data obtained from UAVs to assess the biomass productivity of *Silphium perfoliatum*. *Vestsi Natsyyanal'ny akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 186-197 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-186-197>

**Введение.** Вследствие глобализации мировой экономики сельское хозяйство как развитых, так и развивающихся стран сталкивается с рядом серьезных проблем [1]. Одной из них является поиск путей увеличения экономической эффективности аграрного производства в условиях удорожания энергоресурсов, сырья для производства минеральных удобрений, дефицита органических удобрений и сокращения площади сельскохозяйственных угодий, которое в странах Европы в последние десять лет составляет в среднем 0,7 % в год [2], а в Беларуси достигает 0,1–0,4 %<sup>1</sup>. Действенным способом успешного решения данной проблемы является внедрение точного земледелия – современной концепции управления сельским хозяйством, использующей цифровые технологии для мониторинга и оптимизации процессов сельскохозяйственного производства [3, 4]. Геоинформационные технологии и дистанционное зондирование являются неотъемлемой составляющей системы точного земледелия, позволяющей использовать цифровые методы для мониторинга и оптимизации процессов в агросфере [5, 6].

Агромониторинг – один из важнейших источников получения актуальной и оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных культур, позволяющий своевременно выявить отклонения в росте и развитии растений, определить их причины и принять оперативные управленческие решения по минимизации негативных воздействий. Однако это довольно трудоемкий процесс, требующий значительных затрат сил, средств и времени. Ускорить и удешевить проведение мониторинга состояния сельскохозяйственных культур возможно посредством использования данных дистанционного зондирования Земли, получаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА), используемых в коммерческих целях с начала 1980-х годов. Возможности их практического применения постоянно расширяются, а мировой рынок, согласно прогнозам, к 2020 г. возрастет до 9,5 млрд долларов [7–9].

Несмотря на то, что использование БЛА для целей аграрного производства довольно распространено в странах Западной Европы, США, Китае, в сельскохозяйственной отрасли Беларуси данное оборудование все еще не нашло широкого применения, однако постепенно внедряется в практику. Перспективным направлением является использование данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, полученных с БЛА, для мониторинга и прогноза продуктивности кормовых и зерновых культур [10, 11]. Однако методика выполнения такого вида работ различается в разрезе отдельных культур, в частности, относящихся к нетрадиционным кормовым, и нуждается в усовершенствовании и адаптации к конкретным экономическим и агроэкологическим условиям. Так, требует дополнительного изучения возможность использования данных о высоте растений и различных вегетационных индексов, рассчитанных по результатам RGB-съемки, для оперативной оценки продуктивности биомассы сельскохозяйственных растений.

Цель исследования – оценить возможность использования данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, полученных с помощью БЛА, для оценки продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum*.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) установить возможность использования цифровой модели поверхности растительного покрова, созданной по результатам аэрофотосъемки, для определения продуктивности биомассы; 2) построить ортомозаику,

<sup>1</sup> Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, Минск. 2019. 212 с.

рассчитать величину вегетационных индексов и определить возможность их использования для оценки продуктивности биомассы; 3) создать прогнозную модель, позволяющую определять продуктивность биомассы *Silphium perfoliatum* по данным дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения.

**Объекты и методы исследований.** Исследования выполнялись в 2020 г. на территории Горецкого района Могилевской области Республики Беларусь на базе кафедр геодезии и фотограмметрии, кормопроизводства и хранения продукции растениеводства УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». На рис. 1. представлены сведения о расположении объекта исследований в пределах опытного поля УО БГСХА «Тушково» (Могилевская область, Горецкий район, пос. Гошч-Чарны).

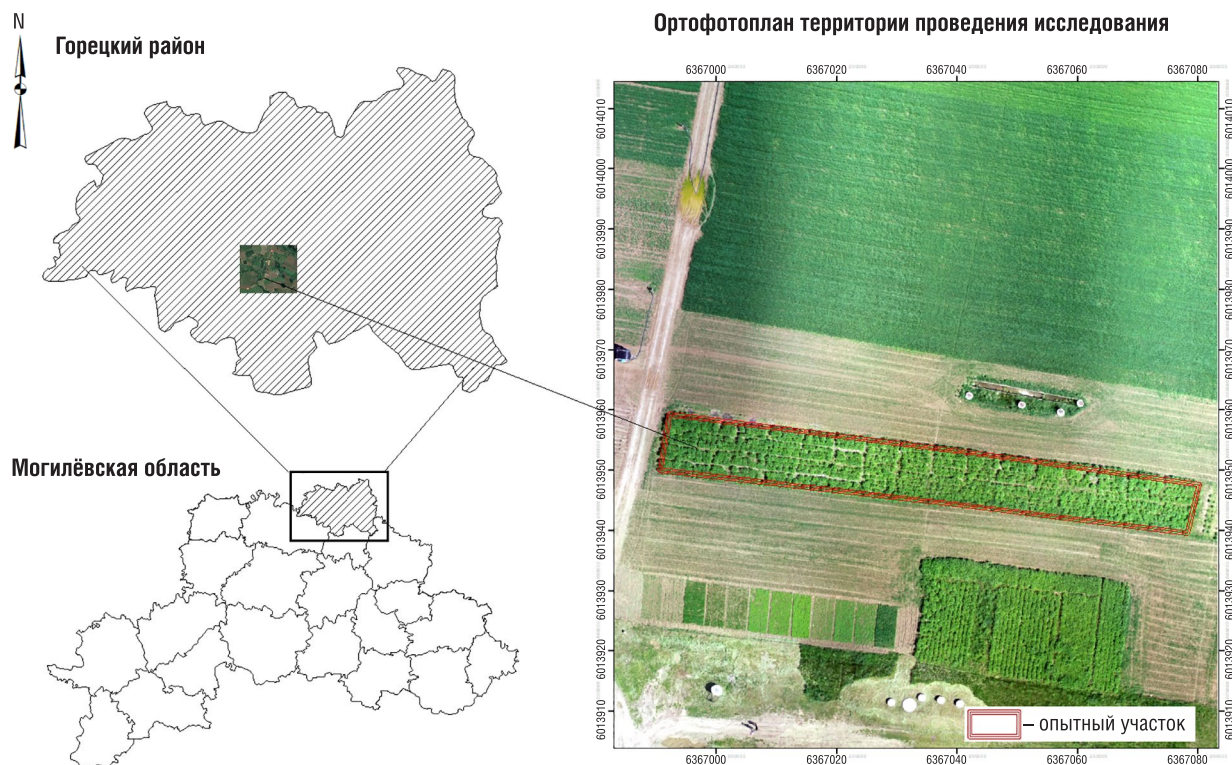


Рис. 1. Расположение объекта исследований – опытное поле УО «БГСХА» «Тушково», пос. Гошч-Чарны, Горецкий район, Могилевская область, 2020 г.

Fig. 1. Location of the research facility - experimental field of EI “BSAA” “Tushkovo”, v. Goshch-Charny, Goretzky district, Mogilev region, 2020

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, слабо- и среднесуглинистая (Umbric Retisols, WRB, 2014; Eutric Podzoluvisols, FAO, 1988). Агротехнические показатели пахотного слоя 0–20 см следующие:  $pH_{KCl}$  6,0–6,6; гидролитическая кислотность – 1,17–0,86 мг-экв. на 100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 91–96 %; содержание гумуса (по Тюрину) – 0,73–1,65 %; подвижных соединений  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 97–181 и 164–192 мг на 1 кг почвы соответственно.

Объектом исследования являлась продуктивность биомассы *Silphium perfoliatum* сорта Овари гигант (Венгрия), возраст посадки – 6 лет, фаза развития – полное стебление.

Площадь опытного участка – 980 м<sup>2</sup>, площадь учетного участка с вегетирующими растениями *Silphium perfoliatum* составила 788 м<sup>2</sup> (по периметру участка оставались буферные зоны для предотвращения зашумления полученного изображения).

Оценку возможности использования данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения для определения продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* выполняли с использованием беспилотного летательного аппарата Phantom-4ProV 2.0, камера которого оснащена CMOS-матрицей размером 1 дюйм, позволяющей получать фотоизображения с разрешением 20 Мп. Камера была откалибрована с помощью программного продукта DJI Assistant,



ее выдержка составляла  $1/400$  с, а диафрагма –  $f/2,8$ . Съемку проводили в однородных и стабильных погодных и радиационных условиях в режиме RGB, высота съемки составляла 50 м, пространственное разрешение – 2,5 см. Продольное и поперечное перекрытие съемки составляло 80 %, количество полученных снимков – 236 шт., дата съемки – 6 июня 2020 г.

Для выполнения аэрофотосъемки и обработки полученных результатов использовали следующее программное обеспечение: 1) полетное задание формировали с использованием программного продукта Drone Deploy; 2) обработку данных аэрофотосъемки, построение карты высот и создание ортомозаики выполняли с использованием программного продукта Agisoft PhotoScan Professional; 3) расчет вегетационных индексов производили с использованием программного продукта QGIS версии 3.12; 4) выполнение геопространственного и геостатистического анализа – с использованием программного продукта ArcGIS версии 10.5.

Для вычисления величин вегетационных индексов использовали функциональные возможности инструмента «Калькулятор растра» программного продукта QGIS версии 3.12, а для вычисления площади растений с той либо иной величиной индекса – функциональные возможности набора инструментов «Зональные» программного продукта ArcGIS версии 10.5. Для верификации полученных результатов в день съемки в пределах территории исследования в полевых условиях рендомизированно было отобрано 60 образцов биомассы *Silphium perfoliatum*, длину растений в которых определяли рулеткой, а места отбора координировали с помощью спутникового приемника Javad Triumph-LS GPS методом RTK GNSS с точностью до 1,5 см. Для каждого отобранного образца определяли также его массу (кг) и объемную массу ( $\text{кг/м}^3$ ). На рис. 2 показаны места локализации отобранных образцов растений *Silphium perfoliatum*, которые координировали с помощью GNSS-позиционирования.



Рис. 2. Расположение мест отбора контрольных образцов фитомассы, опытное поле УО БГСХА «Тушково», пос. Гошч-Чарны, Горецкий район, Могилевская область, 2020 г.

Fig. 2. Location of control sampling sites of phytomass reference samples, experimental field of EI “BSAA” “Tushkovo”, v. Goshch-Charny, Goretsky district, Mogilev region, 2020

Статистическую обработку полученных результатов, построение регрессионных моделей и их кросс-валидацию выполняли в программе Statistica 13.0.

**Результаты и их обсуждение.** Оценку продуктивности биомассы растений *Silphium perfoliatum* выполняли в несколько этапов, первым из которых являлось построение цифровой модели поверхности растительного покрова. Модель создавали посредством выполнения обработки результатов аэрофотосъемки с помощью функциональных возможностей Agisoft PhotoScan Professional, в результате чего была получена карта высот растительного покрова в tif-формате с разрешением 2,5 см. Минимальная высота построенной поверхности составила 143,64 см, максимальная – 144,66 см, средняя – 144,17 см, среднеквадратическое отклонение – 0,18 см. Из полученной карты высот было извлечено облако, состоящее из 364987 точек высот, представляющих территорию выполнения исследования. Для получения значений высоты растений модель поверхности без растительного покрова вычитали из цифровой модели поверхности растительного покрова, определенной в пределах раstra [11, 12] (рис. 3).



Рис. 3. Карта высот растительного покрова, полученная по результатам съемки с БЛА (беспилотные летательные аппараты), опытное поле УО БГСХА «Тушково», пос. Гошч-Чарны, Горецкий район, Могилевская область, 2020 г.

Fig. 3. Map of vegetation cover heights obtained from the results of the survey from the UAV (unmanned aerial vehicles), experimental field of EI “BSAA” “Tushkovo”, v. Goshch-Charny, Goretsky district, Mogilev region, 2020

Растровое изображение поверхности высоты растительного покрова переклассифицировали на 11 классов с шагом 0,1 м, поскольку минимальная идентифицированная высота растений составила 0,1 м, а максимальная – 1,1 м. Такое колебание высот связано с тем, что в пределах исследуемого участка размещались варианты с различными схемами и способами посадки растений. Далее с использованием функциональных возможностей набора инструментов «Зональные» модуля «Пространственный анализ» ArcGIS 10.5 определяли площадь (зону), занимаемую в пределах территории исследования растениями с той или иной высотой, и вычисляли среднюю продуктивность биомассы *Silphium perfoliatum* в фазу стеблевания для каждой из зон (табл. 1).

Минимальная урожайность сырой биомассы *Silphium perfoliatum* составила 1,49 т/га, максимальная – 1,64 т/га, а средневзвешенная урожайность – 8,63 т/га, тогда как для сухой биомассы минимальная, максимальная и средневзвешенная урожайность достигали 0,29, 3,15 и 1,72 т/га соответственно. При этом максимальная площадь в пределах исследуемого участка – 469,16 м<sup>2</sup> оказалась занята растениями высотой 0,5–0,7 м.

Таблица 1. Продуктивность биомассы *Silphium perfoliatum* в фазу стеблевания, определенная по данным съемки БЛА, опытное поле УО БГСХА «Тушково», пос. Гошч-Чарны, Горецкий район, Могилевская область, 2020 г.

Table 1. Productivity of *Silphium perfoliatum* biomass in the stalking phase, determined based on data of UAV survey, experimental field of EI “BSAA” “Tushkovo”, v. Goshch-Charny, Goretsky district, Mogilev region, 2020

Высота растений, м	Площадь, занимаемая растениями, м <sup>2</sup>	Объем биомассы, м <sup>3</sup>	Продуктивность биомассы			
			сырой		сухой	
			кг/м <sup>2</sup>	т/га	кг/м <sup>2</sup>	т/га
0,1	5,53	0,55	0,83	1,49	0,16	0,29
0,2	24,76	4,95	7,393	2,99	1,42	0,57
0,3	55,15	16,54	24,71	4,48	4,74	0,86
0,4	99,22	39,67	59,25	5,97	11,38	1,15
0,5	149,43	74,72	111,57	7,47	21,42	1,43
0,6	172,10	103,26	154,20	8,96	29,61	1,72
0,7	147,63	103,34	154,32	10,45	29,63	2,01
0,8	92,83	74,26	110,89	11,95	21,29	2,29
0,9	35,16	31,65	47,26	13,44	9,07	2,58
1,0	6,05	6,05	9,04	14,93	1,74	2,87
1,1	0,07	0,08	0,13	16,43	0,02	3,15

Для определения достоверности выполнения оценки продуктивности биомассы с использованием данных аэрофотосъемки фактическую высоту растений, измеренную в полевых условиях, сравнивали с данными, полученными с помощью БЛА, и определяли продуктивность растений, рассчитанную по фактической и прогнозной высотам. Полученные результаты довольно хорошо соотносятся между собой, а их взаимосвязь описывается линейной зависимостью. Коэффициент корреляции между фактическим и прогнозным значениями продуктивности биомассы составил 0,97, а величина средней ошибки аппроксимации – 3,3 %, что свидетельствует о высокой достоверности установленной зависимости (рис. 4).

Однако необходимо отметить тот факт, что точность прогнозирования зависит как от условий полета и выбранных параметров съемки, так и от вида и степени развития самой культуры. В нашем случае высокая точность обусловлена прежде всего тем, что растения сильфии на момент съемки были достаточно хорошо сформированными и практически образовали



сплошной покров. Представленные результаты хорошо соотносятся с данными, полученными другими исследователями, которыми установлено, что для ячменя ярового коэффициент корреляции между фактическим и прогнозным значениями продуктивности, определенным по данным высоты растений, полученным с БЛА, составляет 0,83–0,91 [11, 13], для пшеницы яровой – 0,89–0,98 в зависимости от фазы развития [14], для кукурузы на зерно колеблется от 0,89 до 0,93 [15], для пастбищных трав достигает 0,57 [16].

При проведении мониторинга сельскохозяйственных культур важным является получение информации не только о величине сформированной на единицу площади биомассы, но и об общем состоянии вегетирующих растений, наступлении той либо иной фазы их роста, степени развития болезней, эффективности применения средств защиты, масштабах воздействия неблагоприятных природных факторов. Источником получения такой информации служат различные вегетационные индексы, рассчитываемые по результатам спутниковой либо аэрофотосъемки.

С целью установления возможности использования данных о величине вегетационных индексов для оценки продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* по откалиброванной ортомозаике на пиксельной основе по нормализованным RGB-каналам определяли следующие вегетационные индексы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Вегетационные индексы, определяемые на базе съемки БЛА в режиме RGB, 2020 г.

Table 2. Vegetation indices determined based on UAV images in RGB mode, 2020

Вегетационный индекс	Формула для определения вегетационного индекса	Источник информации
Красный-зеленый-синий вегетационный индекс (RGBVI)	$((R_G R_G) - (R_R R_B)) / ((R_G R_G) + (R_R R_B))$	Bendig et al., 2015 [11] Lussem et al., 2018 [17] Barbosa et al., 2019 [18]
Индекс зеленых листьев (GLI)	$(2R_G - R_R - R_B) / (2R_G + R_R + R_B)$	Louhaichi et al., 2001 [19] Hunt et al., 2013 [20] Bendig et al., 2015 [11]
Видимый атмосфероустойчивый индекс (VARI)	$(R_G - R_R) / (R_G + R_R - R_B)$	Gitelson et al., 2002 [21] Hunt et al., 2013 [20] Bendig et al., 2015 [11]
Нормализованный разностной зеленый/красный индекс (NGRDI)	$(R_G - R_R) / (R_G + R_R)$	Tucker, 1979 [22] Hunt et al., 2013 [20] Bendig et al., 2015 [11]
Избыточный зеленый индекс (ExG) *	$2 R_G - R_R - R_B$	Woebbecke et al., 1995 [23] Beniaich et al., 2019 [24]
Индекс Веббеке (WI)*	$(R_G - R_B) / (R_R - R_G)$	Woebbecke et al., 1995 [23] Beniaich et al., 2019 [24]
Разность избыточного зеленого и избыточного красного индексов (EXGR) *	$ExG - 1,4R_R - R_G$	Meyer and Netto, 2008 [25] Beniaich et al., 2019 [24]
Цветовой индекс растительности (CIVE) *	$0,441 R_R - 0,881 R_G + 0,385 R_B + 18,78745$	Kataoka et al., 2003 [26] Beniaich et al., 2019 [24]
Вегетативный индекс (VEG)	$R_G / R_R^a * R_B^{(1-a)}$ , где $a = 0,667$	Marchant and Onyango, 2000 [27] Hague et al., 2006 [28]

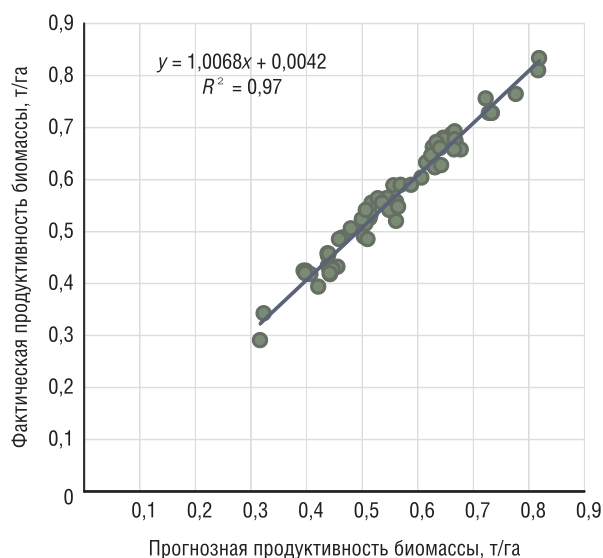


Рис. 4. Зависимость между фактической и прогнозной продуктивностью биомассы *Silphium perfoliatum*, 2020 г.

Fig. 4. Correlation of actual and predicted productivity of the *Silphium perfoliatum* biomass, 2020

Вегетационный индекс	Формула для определения вегетационного индекса	Источник информации
Комбинированный вегетационный индекс 1 (COMB1)	$0,25\text{ExG} + 0,3\text{EXGR} + 0,33\text{CIVE} + 0,12\text{VEG}$	Guijarro et al., 2011 [29] Beniaich et al., 2019 [24]
Комбинированный вегетационный индекс 2 (COMB2)	$0,36\text{ExG} + 0,47\text{CIVE} + 0,17\text{VEG}$	Guijarro et al., 2011 [29] Beniaich et al., 2019 [25]
Соотношение зеленый/красный (GR)	$R_R / R_G$	Beniaich et al., 2019 [24]
Почвенный скорректированный растительный индекс (SAVI)	$1,5 \cdot (R_G - R_R) / (R_G + R_R + 0,5)$	Li et al., 2010 [30] Beniaich et al., 2019 [24]

П р и м е ч а н и е.  $R_R$  – красный канал съемки;  $R_G$  – зеленый канал съемки;  $R_B$  – синий канал съемки; «\*» – для расчетов использовали нормализованные RGB-каналы.

Отметим, что все вегетационные индексы рассчитывались с использованием только трех видимых каналов спектра, а их величина прямо пропорционально зависит от содержания в зеленых растениях хлорофилла, являющегося важной переменной для оценки состояния сельскохозяйственных культур из-за его непосредственной связи с содержанием в листьях азота [14].

Для определения участков с растительностью и без нее в пределах раstra выполняли предварительную сегментацию интересующей области. Далее по сегментированному изображению создавали обучающую выборку с двумя классами объектов – с растительностью и без нее, проводили классификацию изображения с использованием машинного обучения методом опорных векторов (параметр Каппа составил 94 %). Полученный растр переклассифицировали и на его основе создавали маску поверхности без растительности, по которой выполняли обрезку ортомозаики перед определением вегетационных индексов.

Средние значения величины вегетационных индексов RGBVI, NDRGI и GLI, а также вегетационных индексов SAVI и ExG оказались довольно схожими между собой, а средние значения индексов GR и VEG имели наибольшие значения (табл. 3).

Однако результаты оценки взаимосвязи между величинами вегетационных индексов и продуктивностью биомассы *Silphium perfoliatum* свидетельствуют о том, что, несмотря на схожесть абсолютных величин, эти вегетационные индексы характеризуются различной степенью взаимосвязи с продуктивностью биомассы (табл. 4).

Т а б л и ц а 3. Статистические характеристики величины вегетационных индексов, полученных из ортомозаики, созданной на базе съемки БЛА в режиме RGB, 2020 г.

Table 3. Statistical characteristics of vegetation indices obtained from the orthomosaic created based on UAV images in RGB mode, 2020

Вегетационный индекс	Среднее значение	Стандартное отклонение, Sd	Минимальное значение	Максимальное значение
CIVE	18,54	0,32	18,06	19,23
WI	7,64	38,88	–49,53	92,0
VARI	1,69	3,99	–4,02	12,0
VEG	24,26	25,47	1,63	83,0
SAVI	0,82	0,28	0	1,0
RGBVI	0,45	0,37	–0,32	1,0
NDRGI	0,37	0,33	–0,03	1,0
GLI	0,37	0,41	–0,56	0,81
EXGR	–0,11	0,56	–0,76	1,0
ExG	0,88	0,59	0,17	2,0
COMB1	8,92	3,22	6,24	16,24
COMB2	12,79	4,31	9,12	23,24
GR	35,84	34,38	1,29	110,0

В частности, наибольшая сила прямой линейной взаимосвязи величины вегетационного индекса с продуктивностью растений установлена для индексов ExG, RGBVI, NGRDI, а минимальной связью характеризуются индексы VARI и SAVI. На высокую информативность вегетационного индекса ExG указывается в работе [24], а индекса RGBVI – в работе [11]. Вегетационный индекс SAVI наиболее пригоден для разграничения участков, занятых растительностью, и участков с открытой почвой, однако, как и комбинированные индексы COMB1 и COMB2, непригоден для оценки продуктивности биомассы. Об его низкой информативности свидетельствуют и результаты исследований, представленные в работе [31]. Полученные результаты соотносятся с данными [16], в которых при установлении возможности использования вегетационных индексов RGBVI, GLI, NGRDI и VARI для оценки продуктивности биомассы луговых трав среднеквадратическая ошибка оценки составила 6,02 т/га, 5,04, 1,93 и 1,42 т/га соответственно.

Т а б л и ц а 4. Взаимосвязь между величинами вегетационных индексов, полученных из ортомозаики, и продуктивностью биомассы *Silphium perfoliatum*,  $n = 60$ , 2020 г.

Table 4. Correlation of values of vegetation indices obtained from the orthomosaic and the *Silphium perfoliatum* biomass productivity,  $n = 60$ , 2020

Вегетационный индекс	Функция, описывающая тип взаимосвязи	Сила взаимосвязи (коэффициент детерминации, $R^2$ )	Стандартная ошибка (SE), т/га	Средняя квадратическая ошибка (RMSE), т/га	Средняя ошибка аппроксимации, %
ExG	$y = 0,0116x - 0,16$	0,95	1,19	1,08	20,5
RGBVI	$y = 0,0073x - 0,21$	0,94	1,23	1,12	27,0
NGRDI	$y = 0,0064x - 0,20$	0,94	1,24	1,12	20,7
EXGR	$y = 0,011x - 1,09$	0,93	1,35	1,22	23,2
CIVE	$y = 0,0062x + 17,98$	0,91	1,55	1,40	15,9
WI	$y = 0,7451x - 59,11$	0,90	1,64	1,47	19,3
GR	$y = 0,6576x - 23,08$	0,89	1,67	1,51	30,2
GLI	$y = 0,0078x - 0,32$	0,87	1,85	1,68	38,5
VEG	$y = 0,469x - 17,76$	0,83	2,14	1,94	39,1
COMB1	$y = 0,0573x + 3,78$	0,78	2,46	2,23	44,7
COMB2	$y = 0,0769x + 5,89$	0,78	2,44	2,20	43,7
VARI	$y = 0,0658x - 4,20$	0,66	3,02	2,74	43,7
SAVI	$y = 0,0037x + 0,49$	0,44	3,91	3,53	58,7

П р и м е ч а н и е. Данные приведены в пересчете на сырую растительную массу.

Расчет средней ошибки аппроксимации свидетельствует о том, что, несмотря на наличие довольно сильной прямой линейной связи между величинами отдельных вегетационных индексов и продуктивностью биомассы сельфии, использование какого-либо одного индекса для достоверной оценки уровня продуктивности данной культуры не представляется возможным, поскольку даже для самых информативных индексов средняя ошибка аппроксимации достигала 16–27 %. В связи с этим посредством выполнения пошаговой множественной регрессии была оценена возможность использования комплекса вегетационных индексов для определения продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum*. В результате была получена регрессионная модель следующего вида (1):

$$y = -317,181 + 0,997WI - 4,702VARI - 389,566EXGR + 417,682ExG(1), \quad (1)$$

где WI – Индекс Веббеке; VARI – видимый атмосферостойчивый индекс; EXGR – разность избыточного зеленого и избыточного красного индексов; ExG – избыточный зеленый индекс.

Средняя ошибка аппроксимации полученной модели составила 1,82 %, средняя ошибка (SE) – 0,18 т/га, а среднеквадратическая (RMSE) – 0,13 т/га, что свидетельствует о ее высокой надежности и пригодности для целей мониторинга продуктивности *Silphium perfoliatum* в фазу стеблевания (рис. 5).

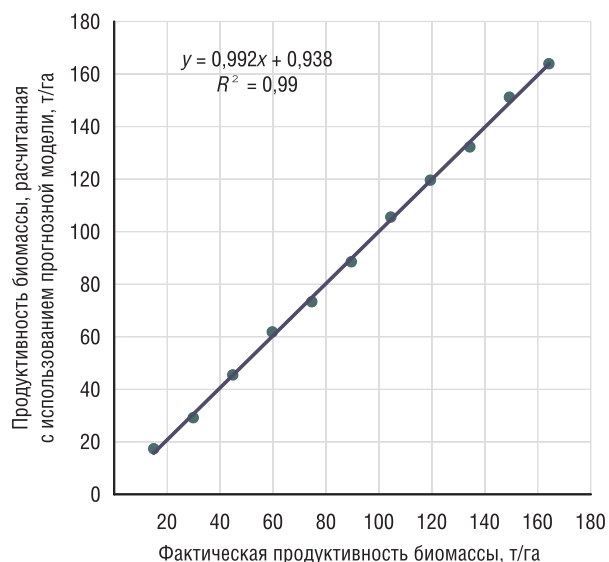


Рис. 5. Зависимость между фактической и прогнозной продуктивностью биомассы *Silphium perfoliatum*, рассчитанной по множественной регрессионной модели, 2020 г.

Fig. 5. Correlation of actual and predicted productivity of the *Silphium perfoliatum* biomass calculated according to the multiple regression model, 2020

### Выводы

1. Результаты исследования дают основание рассматривать данные дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, получаемые с помощью БЛА, как перспективные для использования при оценке продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* в фазу стеблевания.

2. Данные о высоте растений, полученные из цифровой модели поверхности растительного покрова, созданной по результатам аэрофотосъемки, пригодны для использования при оценке продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum*:  $R^2$  для зависимости между фактическим значениям продуктивности и продуктивности, рассчитанной по данным аэрофотосъемки, составляет 0,97.

3. Вегетационные индексы ExG, RGBVI, NGRDI и EXGR, рассчитанные на основе ортомозаики, созданной по результатам съемки БЛА в режиме RGB, информативны для оценки общего состояния растительного покрова, однако использование их по отдельности для достоверного прогноза продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* не представляется возможным из-за низкой надежности полученных регрессионных моделей.

4. Прогнозная модель, созданная методом пошаговой множественной линейной регрессии и включающая комплекс из четырех вегетационных индексов – ExG, VARI, WI и EXGR, позволяет определять продуктивность биомассы *Silphium perfoliatum* в фазу начала стеблевания по данным дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения с ошибкой, не превышающей 2 %.

5. Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении оценки валидации алгоритмического обеспечения процесса использования данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, полученных с БЛА, для оценки и прогнозирования продуктивности других кормовых культур, в частности кукурузы на силос, в производственных условиях, и автоматизацию обработки получаемых данных.

Результаты выполненного исследования могут быть полезны как при разработке методики прогнозирования, так и при непосредственном прогнозировании продуктивности биомассы *Silphium perfoliatum* и других кормовых культур, в частности, *Helianthus annuus* и *Helianthus tuberosus*.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного комплекса» по теме государственного задания 6.84 «Создание популяций силфиции пронзеннолистной с высокими адаптивным потенциалом и урожайностью, оценка их питательной и кормовой ценности при многоукосном использовании в зеленом конвейере».

### Список использованных источников

1. Kutsayeva, A. Creation of management zones for the purposes of land development at the implementation of precision farming in Belarus / A. Kutsayeva, T. Myslyva // Baltic Surveying. – 2020. – Vol. 12. – P. 19–27. <https://doi.org/10.22616/j.balticsurveying.2020.003>
2. Daheim, C. Precision agriculture and the future of farming in Europe : scientific foresight study / C. Daheim, K. Poppe, R. Schrijver ; Europ. Parliament. – Brussels : EU, 2016. – 274 p. <https://doi.org/10.2861/020809>
3. Doerge, T. A. Management zone concepts. Site-specific management guidelines, no. 2 / T. A. Doerge. – Canada : IPNI, 1999. – 4 p.
4. Куцаева О. А. Создание менеджмент-зон для дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием инструментов геостатистики / О. А. Куцаева // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2020. – № 2. – С. 176–181.
5. Zarco-Tejada, P. J. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers – potential support with the cap 2014–2020 / P. J. Zarco-Tejada, N. Hubbard, P. Loudjani ; Europ. Parliament, Directorate-General for Internal Policies of the Union. – Luxembourg : Publ. Office, 2014. – 50 p. <https://doi.org/10.2861/58758>
6. Maloku, D. Adoption of precision farming technologies: USA and EU situation / D. Maloku // SEA – Practical Application of Science. – 2020. – Vol. VIII, iss. 22. – P. 7–14.
7. Бауэрс, П. Летательные аппараты нетрадиционных схем / П. Бауэрс ; пер. с англ. Б. Б. Рыбака ; под ред. Е. В. Зябрева. – М. : Мир, 2016. – 320 с.
8. Васи́лин, Н. Я. Беспилотные летательные аппараты / Н. Я. Васи́лин. – Минск : Попурри, 2017. – 272 с.
9. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Ю. Н. Зубарев [и др.] // Вестн. Перм. федер. исслед. центра. – 2019. – № 2. – С. 47–51. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.5>
10. Terrestrial laser scanning of agricultural crops / J. Lumme [et al.] // The Intern. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing a. Spatial Inform. Sciences. – 2008. – Vol. 37, pt. B5. – P. 563–566.



11. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley / J. Bendig [et al.] // Intern. J. of Appl. Earth Observation a. Geoinformation. – 2015. – Vol. 39. – P. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
12. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging / J. Bendig [et al.] // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6, N 11. – P. 10395–10412. <https://doi.org/10.3390/rs61110395>
13. Bendig, J. UAV-based imaging for multi-temporal, very high-resolution crop surface models to monitor crop growth variability / J. Bendig, A. Bolten, G. Bareth // Photogrammetrie. Fernerkundung. Geoinformation. – 2013. – Vol. 6. – P. 551–562. <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2013/0200>
14. Accuracy assessment of plant height using an unmanned aerial vehicle for quantitative genomic analysis in bread wheat / M. A. Hassan [et al.] // Plant Methods. – 2019. – Vol. 15. – Art. 37. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0419-7>
15. Comparison of models in assessing relationship of corn yield with plant height measured during early- to mid-season / X. Yin [et al.] // J. of Agr. Science. – 2011. – Vol. 3, N 3. – P. 14–24. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n3p14>
16. Mapping and monitoring of biomass and grazing in pasture with an unmanned aerial system / A. Michez [et al.] // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, N 5. – Art. 473. <https://doi.org/10.3390/rs11050473>
17. Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland / U. Lussem [et al.] // The Intern. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing a. Spatial Inform. Sciences. – 2018. – Vol. XLII-3. – P. 1215–1219. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018>
18. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis / B. D. S. Barbosa [et al.] // Agronomy Research. – 2019. – Vol. 17, N 2. – P. 349–357. <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>
19. Louhaichi, M. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat / M. Louhaichi, M. M. Borman, D. E. Johnson // Geocarto Intern. – 2001. – Vol. 16, № 1. – P. 65–70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>
20. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale / E. R. Hunt Jr. [et al.] // Intern. J. of Appl. Earth Observation a. Geoinformation. – 2013. – Vol. 21. – P. 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>
21. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction / A. A. Gitelson [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2002. – Vol. 80, N 1. – P. 76–87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
22. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sensing of Environment. – 1979. – Vol. 8, N 2. – P. 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
23. Color indexes for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions / D. M. Woebbecke [et al.] // Trans. of the ASAE. – 1995. – Vol. 38, N 1. – P. 259–269. <https://doi.org/10.13031/2013.27838>
24. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera / A. Beniaich [et al.] // Semina: Ciências Agrárias. – 2019. – Vol. 40, N 1. – P. 49–66. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p49>
25. Meyer, G. E. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications / G. E. Meyer, J. C. Neto // Computers a. Electronics in Agriculture. – 2008. – Vol. 63, № 2. – P. 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
26. Crop growth estimation system using machine vision / T. Kataoka [et al.] // Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), July 20 – July 24, 2003 / The Inst. of Electrical a. Electronics Engineers. – Kobe, 2003. – Vol. 2. – P. 1079–1083. <https://doi.org/10.1109/aim.2003.1225492>
27. Marchant, J. A. Shadow invariant classification for scenes illuminated by daylight / J. A. Marchant, C. M. Onyango // J. of the Optical Society of America. – 2000. – Vol. 17, N 11. – P. 1952–1961. <https://doi.org/10.1364/josaa.17.001952>
28. Hague, T. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals / T. Hague, N. D. Tillett, H. Wheeler // Precision Agriculture. – 2006. – Vol. 7, N 1. – P. 21–32. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-6787-1>
29. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images / M. Guijarro [et al.] // Computers a. Electronics in Agriculture. – 2011. – Vol. 75, N 1. – P. 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.013>
30. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera / Y. Li [et al.] // Field Crops Research. – 2010. – Vol. 118, N 3. – P. 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.05.011>
31. Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle / Z. Fu [et al.] // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, N 3. – Art. 508. <https://doi.org/10.3390/rs12030508>

## References

1. Kutsayeva A., Myslyva T. Creation of management zones for the purposes of land development at the implementation of precision farming in Belarus. *Baltic Surveying*, 2020, vol. 12, pp. 19–27. <https://doi.org/10.22616/j.balticsurveying.2020.003>
2. Daheim C., Poppe K., Schrijver R. *Precision agriculture and the future of farming in Europe: scientific foresight study*. Brussels, European Union, 2016. 274 p. <https://doi.org/10.2861/020809>
3. Doerge T. A. *Management zone concepts. Site-specific management guidelines*, no. 2. Canada, IPNI, 1999. 4 p.
4. Kutsaeva O. A. Creation of management zones for differentiated application of mineral fertilizers with the use of geostatistics tools. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2020. no. 2, pp. 176–181 (in Russian).
5. Zarco-Tejada P. J., Hubbard N., Loudjani P. *Precision agriculture: an opportunity for EU farmers - potential support with the cap 2014-2020*. Luxembourg, Publications Office, 2014. 50 p. <https://doi.org/10.2861/58758>
6. Maloku D. Adoption of precision farming technologies: USA and EU situation. *SEA - Practical Application of Science*, 2020, vol. VIII, iss. 22, pp. 7–14.
7. Bowers P. M. *Unconventional aircraft*. 2<sup>nd</sup> ed. Blue Ridge Summit, TAB Books, 1990. 323 p.



8. Vasilin N. Ya. *Unmanned aerial vehicles*. Minsk, Popurri Publ., 2017. 272 p. (in Russian).
9. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Chashchin A. N., Zabolotnova M. V. Use of uncleaned aircraft in agriculture. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra = Perm Federal Research Centre Journal*, 2019, no. 2, pp. 47-51 (in Russian). <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.5>
10. Lumme J., Karjalainen M., Kaartinen H., Kukko A., Hyypä J., Hyypä H., Jaakkola A., Kleemola J. Terrestrial laser scanning of agricultural crops. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, vol. 37, pt. B5, pp. 563-566.
11. Bendig J., Yu K., Aasen H., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Gnyp M. L., Bareth G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, vol. 39, pp. 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
12. Bendig J., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Eichfuss S., Bareth G. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, no. 11, pp. 10395-10412. <https://doi.org/10.3390/rs61110395>
13. Bendig J., Bolten A., Bareth G. UAV-based imaging for multi-temporal, very high-resolution crop surface models to monitor crop growth variability. *Photogrammetrie. Fernerkundung. Geoinformation*, 2013, vol. 6, pp. 551-562. <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2013/0200>
14. Hassan M. A., Yang M., Fu L., Rasheed A., Zheng B., Xia X., Xiao Y., He Z. Accuracy assessment of plant height using an unmanned aerial vehicle for quantitative genomic analysis in bread wheat. *Plant Methods*, 2019, vol. 15, art. 37. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0419-7>
15. Yin X., Jaja N., McClure M. A., Hayes R. M. Comparison of models in assessing relationship of corn yield with plant height measured during early- to mid-season. *Journal of Agricultural Science*, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 14-24. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n3p14>
16. Michez A., Lejeune P., Bauwens S., Herinaina A. A. L., Blaise Y., Munoz E. C., Lebeau F., Bindelle J. Mapping and monitoring of biomass and grazing in pasture with an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 2019, vol. 11, no. 5, art. 473. <https://doi.org/10.3390/rs11050473>
17. Lussem U., A. Bolten, Gnyp M. L., Jasper J., Bareth G. Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2018, vol. XLII-3, pp. 1215-1219. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018>
18. Barbosa B. D. S., Ferraz G. A. S., Gonçalves L. M., Marin D. B., Maciel D. T., Ferraz P. F. P., Rossi G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agronomy Research*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 349-357. <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>
19. Louhaichi M., Borman M. M., Johnson D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 2001, vol. 16, no. 1, pp. 65-70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>
20. Hunt E. R. Jr., Doraiswamy P. C., McMurtry J. E., Daughtry C. S. T., Perry E. M., Akhmedov B. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, vol. 21, pp. 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>
21. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R., Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol. 80, no. 1, pp. 76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
22. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1979, vol. 8, no. 2, pp. 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
23. Woebbecke D. M., Meyer G. E., Von Bargen K., Mortensen D. A. Color indexes for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 1995, vol. 38, no. 1, pp. 259-269. <https://doi.org/10.13031/2013.27838>
24. Beniaich A., Silva M. L. N., Avalos F. A. P., Cândido B. M. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. *Semina: Ciências Agrárias*, 2019, vol. 40, no. 1, pp. 49-66. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p49>
25. Meyer G. E., Neto J. C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, vol. 63, no. 2, pp. 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
26. Kataoka T., Kaneko T., Okamoto H., Hata S. Crop growth estimation system using machine vision. *Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), July 20 - July 24, 2003*. Kobe, 2003, vol. 2, pp. 1079-1083. <https://doi.org/10.1109/aim.2003.1225492>
27. Marchant J. A., Onyango C. M. Shadow invariant classification for scenes illuminated by daylight. *Journal of the Optical Society of America*, 2000, vol. 17, no. 11, pp. 1952-1961. <https://doi.org/10.1364/josaa.17.001952>
28. Hague T., Tillett N. D., Wheeler H. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. *Precision Agriculture*, 2006, vol. 7, no. 1, pp. 21-32. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-6787-1>
29. Guijarro M., Pajares G., Riomoros I., Herrera P. J., Burgos-Artizzu X. P., Ribeiro A. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, vol. 75, no. 1, pp. 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.013>
30. Li Y., Chen D., Walker C. N., Angus J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research*, 2010, vol. 118, no. 3, pp. 221-227. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.05.011>
31. Fu Z., Jiang J., Gao Y., Krienke B., Wang M., Zhong K., Cao Q., Tian Y., Zhu Y., Cao W., Liu X. Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 3, art. 508. <https://doi.org/10.3390/rs12030508>

### Информация об авторах

*Мыслыва Тамара Николаевна* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, зав. кафедрой геодезии и фотограмметрии, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Могилевская обл., Республика Беларусь). E-mail: byrty41@yahoo.com

*Шелюто Бронислава Васильевна* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры кормопроизводства и хранения продукции растениеводства, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Могилевская обл., Республика Беларусь). E-mail: a.sheliuta@mail.ru

*Надточий Петр Петрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт сельского хозяйства Полесья Национальной академии аграрных наук Украины (Киевское шоссе, 132, 10132 Житомир, Житомирская обл., Украина). E-mail: pnadtochy@yahoo.com

*Куцаева Олеся Алексеевна* – старший преподаватель кафедры геодезии и фотограмметрии, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Могилевская обл., Республика Беларусь). E-mail: alexa-1982@bk.ru

### Information about authors

*Tamara N. Myslyva* - D. Sc. (Agriculture), Professor. Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: byrty41@yahoo.com

*Branislava V. Sheliuta* - D. Sc. (Agriculture), Professor. Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: a.sheliuta@mail.ru

*Petr P. Nadtochyj* - D. Sc. (Agriculture), Associate Professor. Institute of Agriculture of Polesie NAAS of Ukraine (132 Kiev highway, Zhytomyr, Zhytomyr Region 10132, Ukraine). E-mail: pnadtochy@yahoo.com

*Alesia A. Kutsayeva* - Senior Lecturer (Agriculture). Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: alexa-1982@bk.ru

Nadiia A. Vus<sup>1</sup>, Antonina A. Vasylenko<sup>1</sup>, Lyubov K. Kobzyeva<sup>1</sup>, Olha N. Besuhla<sup>1</sup>,  
Olha V. Antziferova<sup>1</sup>, Sergiy I. Sylenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Ustymivska Experimental station of the Plant Production

Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS, Ustymivka village, Hlobyno District, Poltava Region, Ukraine

## OIL CONTENT IN CHICKPEA SEEDS OF THE NATIONAL COLLECTION OF UKRAINE

**Abstract:** Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an important legume crop grown and consumed worldwide. Oil content in chickpea seeds ranges from 4 % to 7 % according to various data sources. Considering the interest of breeders in this issue, as well as for the purpose of inventory of the presented chickpea genetic material in the collection of the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine, these studies were carried out. Field experiments were carried out in 2016–2018 in the scientific crop rotation of the Plant Production Institute n.a. V. Ya. Yuriev of NAAS (Kharkiv, Ukraine). 43 samples (21 - *kabuli* type and 22 - *desi* type) of different ecological and geographical origin were studied. Oil content in chickpea seeds was determined using gravimetric method of S. V. Rushkovsky (Yermakov, 1987) in the laboratory for genetics, biotechnology and quality of the Plant Production Institute n.a. V. Ya. Yuriev of NAAS. On average, over the years of study, in the *kabuli* type accessions, the oil content level in the seeds made 7.08 %; for accessions - 6.05 %. The range of variability of this trait for the *kabuli* chickpea ranged from 5.22 % to 8.69 %, and for *desi* - from 4.40 % to 7.26 %. A low variability of the studied trait was noted for both the *kabuli* ( $V = 6.88\text{--}15.04\%$ ) and for *desi* ( $V = 8.98\text{--}14.15\%$ ) chickpea cultivars. The advantage in terms of oil content in seeds, regardless of the growing conditions, was retained for the *kabuli* type. The accessions with the maximum level of the “oil content in seeds” trait manifestation were selected as “reference” for each type: for *kabuli* - variety Pamyat (Ukraine) - 7.95 %, for *desi* - Yarina (Ukraine) - 7.13 %. The best oil-bearing chickpea samples can be used in specialized programs to create new genotypes with a higher oil content in seeds.

**Keywords:** legumes, *Cicer arietinum* L., National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine, selection, sample, *kabuli* morphotype, *desi* morphotype, oil content in seeds

**For citation:** Vus N. A., Vasylenko A. A., Kobzyeva L. K., Besuhla O. N., Antziferova O. V., Sylenko S. I. Oil content in chickpea seeds of the national collection of Ukraine. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 198–204. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-198-204>

Н. А. Вус<sup>1</sup>, А. А. Василенко<sup>1</sup>, Л. Н. Кобызева<sup>1</sup>, О. Н. Безуглая<sup>1</sup>, О. В. Анциферова<sup>1</sup>, С. И. Силенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины, Харьков, Украина

<sup>2</sup> Устимовская опытная станция Института растениеводства им. В. Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины, с. Устимовка, Глобинский район, Полтавская обл., Украина

## СОДЕРЖАНИЕ МАСЛА В СЕМЕНАХ НУТА НАЦИОНАЛЬНОЙ КОЛЛЕКЦИИ УКРАИНЫ

**Аннотация:** Нут (*Cicer arietinum* L.) является важной зернобобовой культурой, которую выращивают и потребляют во всем мире. Содержание масла в семенах нута по различным данным колеблется от 4 до 7 %. Учитывая интерес к данному вопросу со стороны селекционеров, а также с целью инвентаризации представленного генетического материала нута в коллекции Национального центра генетических ресурсов растений Украины были проведены настоящие исследования. Полевые опыты были проведены в 2016–2018 гг. в научном севообороте Института растениеводства им. В. Я. Юрьева (Харьков, Украина). Исследовали 43 образца (21 тип *kabuli* и 22 типа – *desi*) разного эколого-географического происхождения. Содержания масла в семенах нута определяли гравиметрическим методом С. В. Рушковского (Ермаков, 1987) в лаборатории генетики, биотехнологии и качества Института растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН. В среднем за годы изучения у образцов морфотипа *kabuli* содержание масла в семенах составило 7,08 %; у образцов типа *desi* – 6,05 %. Диапазон изменчивости данного признака для морфотипа *kabuli* колебался от 5,22 до 8,69 %, а у *desi* – от 4,40 до 7,26 %. Отмечена невысокая вариативность изучаемого признака как для морфотипа *kabuli* ( $V = 6,88\text{--}15,04\%$ ), так и для *desi* ( $V = 8,98\text{--}14,15\%$ ). Преимущество по содержанию масла в семенах, независимо от условий вегетации, сохранялось за морфотипом *kabuli*. В качестве «эталонных» для каждого из морфотипов выделены образцы с максимальным уровнем проявления признака «содержанием масла в семенах»: для морфотипа *kabuli* – сорт Память (Украина) – 7,95 %, для *desi* – сорт Ярина (Украина) – 7,13 %. Лучшие по масличности образцы нута могут быть использованы в специализированных программах для создания новых генотипов с повышенным содержанием жира в семенах.

**Ключевые слова:** зернобобовые культуры, *Cicer arietinum* L., Национальный центр генетических ресурсов растений Украины, селекция, образец, морфотип *kabuli*, морфотип *desi*, содержанием масла в семенах

**Для цитування:** Содержание масла в семенах нута Национальной коллекции Украины / Н. А. Вус, А. А. Василенко, Л. Н. Кобызева, О. Н. Безуглая, О. В. Анциферова, С. И. Силенко // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 198–204. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-198-204>

**Introduction.** Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an important grain legume, which is grown and consumed worldwide and will gain in importance with climate change. The production and consumption of chickpea is steadily increasing. Ranked third in the world for production among legumes, chickpea is an important source of protein in densely populated but poor regions of Asia and Africa [1]. Two market chickpea types: desi and kabuli, are grown in the world, differing in the morphological characteristics of seeds. About 75 % of world chickpea production is Desi, angular and dark. They are grown mainly in Asia and Ethiopia. Kabuli seeds are beige in color and round in shape. They are usually grown in the Mediterranean and Mexico [15].

It is a good source of carbohydrates and proteins. The presence of lipids in chickpea seeds increases their nutritional value. Among legumes, peanut (*Arachis hypogaea* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) and winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.) are distinguished due to lipid content, which is 49.7 %, 21.3 % and 16.8 %, respectively [2]. Most of the legume seeds contained a low level of oil content, from 1.7 % in horse bean (*Vicia faba* L.), to 4.5 % in kidney bean (*Phaseolus coccineus* L.) [3]. As different sources claim, the oil content in chickpea seeds varies from 4 % to 7 %; of the total amount of fatty acids in chickpea oil, saturated fatty acids account for 13 %, monounsaturated fatty acids - for 20 %, and polyunsaturated ones – for 67 %. Among the unsaturated fatty acids, linoleic (43.29 %) and oleic (21.84 %) prevail in chickpea seeds, and palmitic (9.22 %) prevail among the saturated fatty acids [2, 4, 5, 6]. The content of these fatty acids can vary significantly depending on weather conditions. However, the influence of the genotype and genotype-environment interactions are equally important [7]. The chickpea oil contains B-sitosterol, campesterol and stigmasterol, which are important sterols [8]. There is a significant negative correlation between the oil content and content of phytin phosphorus compounds with anti-nutritional properties [9]. An increase in the oil content in the seeds of legume crops by breeding work significantly improves their nutritional quality. Thus, in pea, using the current genetic diversity, breeders have achieved a level of oil content in seeds of 7.7 %, while in the most common smooth-seeded varieties its level does not exceed 2.0 % [10]. The study of the national collection of genetic resources allows you to expand the range of use of genetic material in special breeding. So, in peas, genetically determined natural starch-modifying mutations are associated with the content and quality of oil [11].

Among the most widely used legumes in Ukraine (pea, common bean, chickpea and lentil), chickpea are characterized by the highest oil content, the lowest insoluble fiber and the absence of soluble dietary fiber [12].

The potential of chickpea for healthy nutrition is especially high. Polyunsaturated fatty acids (such as linoleic acid) actively reduce serum cholesterol; monounsaturated ones (for example, oleic acid) do not have an independent effect on the level of serum cholesterol, as saturated fatty acids (for example, palmitic acid) play the main role in the metabolism of this substance, increasing its level. The presence of polyunsaturated fatty acids creates the conditions for synthesis of prostaglandins, which prevent alpha lipoprotein (HDL) cholesterol from concentrating on of blood vessel walls [5]. For example, chickpea is included in special diets both for prophylaxis and for treatment of cardiovascular diseases, type 2 diabetes, diseases of the digestive system, and some types of cancer [8]. The specific chemical composition of chickpea (carbohydrates - 48 %; protein - 28 %; fat - 4.5 %) is most suitable for the production of meat and vegetable precooked foods. Patty cakes containing 20-25 % of chickpea flour have been developed for elderly nutrition [4].

Chickpea has become the main ingredient in follow-on formula for baby food that meets WHO / FAO complementary feeding requirements as well as EU rules for such follow-on formula with a minimum addition of oils, minerals and vitamins. Chickpeas have been used as a major source of carbohydrates and protein, making such formula more economical and affordable for low-income countries without compromising nutritional quality [13].

Adding chickpea flour to foods such as bread, snacks and chips increases their nutritional value by enriching them with protein and lowering anti-nutrients such as acrylamide [14].

Publications by researchers from India and Pakistan, countries where chickpea is the basis of the diet, dominate in the literature on the issue. In Ukraine, studies of the oil content in chickpea seeds are episodic [16, 17], and the core chickpea collection of the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine (NCPGRU) was not evaluated for this trait. Given the interest in this issue from breeders and



consumers, as well as for the purpose of inventorying the available genetic material of chickpea from the NCPGRU's core collection, this study was designed and conducted. There were also issues of a scale for assessing the oil content in seeds, identification of check accessions for further studies and sources of high oil content in seeds for breeding, which became our objectives.

**Material and Methods.** In 2016–2018, the oil content in chickpea seeds from the NCPGRU's core collection was analyzed for the first time. In 2016, 24 accessions were studied 12 *kabuli* (with light seeds) and *desi* (with dark seeds) accessions of different eco-geographical origin. These accessions have been investigated at the NCPGRU for many years, and some of them were previously chosen as check accessions for different valuable traits, such as yield capacity, resistance to ascochyta, seed size, early ripening, high protein content, cooking property, etc. [18]. In 2017–2018, the assortment of the studied accessions was expanded to 43 accessions (21 belonged to the *kabuli*-type and 22 - to the *desi*-type) due to local accessions of different origin.

According to the State Standard for identifying sources of valuable traits in the NCPGRU's collections, accessions whose values are by  $\geq 15\%$  higher than the average across the sample are distinguished as sources<sup>1</sup>.

The field experiments were carried out in the scientific crop rotation of the Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev, Kharkiv, Ukraine in 2016–2018. The forecrop was winter wheat. The field experiments were conducted in accordance with the “Guidelines for Studying the Genetic Resources of Grain Legumes” (2016)<sup>2</sup>.

The oil content in chickpea seeds was determined by S.V. Rushkovsky's gravimetric method<sup>3</sup> in the Laboratory of Genetics, Biotechnology and Quality of the Plant Production Institute of named after V.Ya. Yuriev of NAAS.

The weather conditions during the vegetation periods of the 3 study years varied significantly. 2016 was characterized by waterlogging during the chickpea flowering and ripening periods (June–August): the precipitation amount was 143.7 mm, which is by 60.6 % higher than the multi-year average for this period, while both 2017 and 2018 were hot and dry, with 43 % and 60.9 % of rainfall related to the multi-year average, respectively. In 2018, the average daytime temperature in June–August reached 29.6–35.5 °C and was accompanied by heavy rains during the seed setting and filling. Of the 3 study years, 2016 was unfavorable for the chickpea growth and development, and 2017 and 2018 were closer to the optimum for this crop, although they were marked by high temperature and drought.

**Results:** The 2016 results showed that the average oil content across the sample of chickpea seeds was 7.72 %, ranging 6.79 to 8.57 % in the *kabuli* accessions and 5.02 to 7.26 % in the *desi* ones (Table 1), which is significantly higher than the values reported by other researchers. For example, Shah et al. reported that the oil content in chickpea seeds from Pakistan was 3.54 % [22]; in Avola et al.'s publication it was 4.36 % for Italian accessions [23].

Seven out of the 12 *kabuli* accessions investigated in 2016 had an oil content within the average across the test sample (7.16 %), and in 2 accessions the values exceeded the average by more than 15 %: Ukrainian cultivars Dniprovskiy Vysokoroslyi (8.27 %) and Smachnyi (8.52 %). As to the *desi*-type, 3 accessions had the intermediate contents: CDC Anna (7.26 %), Krasnokutskiy 123 (7.21 %) and Kolo-ryt (7.11 %). None of the *desi* accessions exceeded the average by more than 15 %.

The three-year study (2016–2018) of the oil content in chickpea seeds in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine showed that in this test sample the average was 7.08 % and 6.05 % across the *kabuli* and *desi* accessions, respectively (Table 2).

The oil content range in chickpea seeds over the study years was 5.22 % to 8.69 % and 4.40 % to 7.26 % for the *kabuli* and *desi* types, respectively. The oil content in seeds across the entire sample ranged 4.40 % to 8.69 %. It should be noted that in 2017 and 2018, compared with 2016, the oil content range in seeds expanded significantly, which can be attributed both to an increase in the number of accessions in the

<sup>1</sup> State Standard of Ukraine 7066.2009. Genetic resources of plants. Terms and definitions. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010. (in Ukrainian).

<sup>2</sup> Kobyzeva L. N., Bezugla O. M., Silenko S. I., Kolotilov V. V., Sokol T. V., Dokukina K. I., Vasilenko A. O., Bezuglii I. M., Vus N. O. Guidelines for studying the genetic resources of grain legumes. Kharkiv, Stil'-Izdat Publ., 2016. 84 p. (in Ukrainian).

<sup>3</sup> Ermakov A. I. (ed.). Methods of biochemical studies on plants. 3rd ed. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1987. 430 p. (in Russian).



**Table 1. Oil Content in Chickpea Seeds Harvested in 2016**

No in the National Catalogue of Ukraine	Name	Country of origin	Oil content, %	No in the National Catalogue of Ukraine	Name	Country of origin	Oil content, %
<i>Rabuli</i>				<i>Desi</i>			
UD0500417	Smachnyi	Ukraine	8.52	UD0500723	CDC Anna	Canada	7.26
UD0500444	Dniprovskiy Vysokoroslyi	Ukraine	8.27	UD0500101	Krasnokutskiy 123	Russia	7.21
UD0500736	Pamiat	Ukraine	8.18	UD0500429	Koloryt	Ukraine	7.18
UD0502113	Jamila	Azerbaijan	8.04	UD0501172	KP 3990	Ukraine	6.93
UD0500424	Rozanna	Ukraine	6.81	UD0500425	Aleksandryt	Ukraine	6.81
UD0501194	Dobrobut	Ukraine	7.91	UD0501164	Pehas	Ukraine	6.67
UD0500762	Zavolzhiyskiy	Russia	7.85	UD0500495	E 100	Greece	6.64
UD0500864	Flip 99-55C	Siria	7.70	UD0500719	Sovkhoznny 14	Russia	6.56
UD0500196	–	Azerbaijan	7.66	UD0500494	R 919	Russia	6.55
UD0501200	Slobozhanskyi	Ukraine	7.56	UD0500422	Cicer rotundum	Czech Republic	6.42
UD0502093	–	Ukraine	7.42	UD0500263	–	Ukraine	6.29
UD0500689	Skorospelka	Russia	6.79	UD0500022	–	Georgia	5.02
Mean			7.72	Mean			6.60
Coefficient of variation, %			6.88	Coefficient of variation, %			8.98
Variance			0.28	Variance			0.36

**Table 2. Oil Content in Chickpea Seeds of the Two Types**

Year	Oil Content, %											
	<i>Kabuli</i>				<i>Desi</i>				<i>Total</i>			
	Min	Max	Mean	CV, %	Min	Max	Mean	CV, %	Min	Max	Mean	CV, %
2016	6.79	8.52	7.73	6.88	5.02	7.26	6.63	8.98	5.02	8.52	7.18	10.98
2017	5.74	8.69	6.89	10.98	4.70	7.20	6.04	12.26	4.70	8.69	6.43	13.26
2018	5.22	8.65	6.62	15.04	4.40	7.07	5.47	14.15	4.40	8.65	5.99	17.41
Mean			7.08				6.05				6.53	

sample and to a possible influence of the plant vegetation conditions. Thus, in 2016 the oil co-tent was for the *kabuli*-type was 6.79 % - 8.52 %, and in 2017 and 2018 - 5.74 % - 8.69 % and 5.22 – 8.65 %, respectively. The same trend was noted for the *desi*-type: in 2016 the oil content amounted to 5.02 % - 7.26 %, and in 2017 and 2018 this parameter was in the range of 4.70 - 7.20 % and 4.40 % - 7.07 %, respectively.

Analysis of the 2016 data gave a low coefficient of variation of the “oil content in seeds” trait in the *kabuli* (CV = 6.88 %) and *desi* (CV = 8.98 %) accessions, which can be attributed either to a high homogeneity of the sample or to a consequence of its small size and effects of the weather conditions. Avola et al. (2012) noted that the oil content varied slightly in different accessions, but increased significantly during seed cooking [23]. Ukrainian researchers also reported a weak variability in the trait [17]. When the size of the sample increased to 43 accessions in 2017 – 2018, the coefficient of variation rose for the both types, but it did not fall outside of the average limits.

Working with genetic resources, one should evaluate large numbers of collection accessions, which requires a scale with a variability range of the trait under investigation. To develop such a scale, we reviewed literature data published by researchers from different countries (Table 3).

The minimum oil content in chickpea seeds was noted in Pakistan (3.54 % [22]) and in Italy (4.36 % [23]). The maximum was 8.00 % in Ukraine [16] and 9.01 % in Argentina [32]. Within this range, the scale gradations were calculated for assessing the oil content in chickpea seeds from the NCPGRU's core collection: Very low - below 5.00 %; Low - 5.00-5.99 %; Moderate - 6.00-6.99 %; High - 7.00-8.00 %; Very high - above 8.00 %.

After developing the scale, it became possible to evaluate chickpea accessions of the core collection of the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine for the oil content (Fig. 1).

**Table 3. Oil Content in Chickpea Seeds from Different Countries (according to published data)**

Country	Oil content, %		Reference
	<i>Rabuli</i>	<i>Desi</i>	
Ukraine	7.3 - 8.0	6.5	[16]
Ukraine	5.8		[17]
Italy (Sicily)	4.36	-	[23]
Italy (Sicily)	6	-	[24]
Makedonia	4.44 - 5.16	-	[25]
Turkey	4.45 - 6.11	-	[26]
Ethiopia	-	5.88	[27]
Pakistan	3.54	-	[22]
Pakistan	4.5	5.7	[28]
Pakistan	-	5.88 – 6.87	[29]
India	-	4.18 – 4.92	[30]
Canada	5,5	3,6	[31]
Argentina	5,68 – 9,01	-	[32]

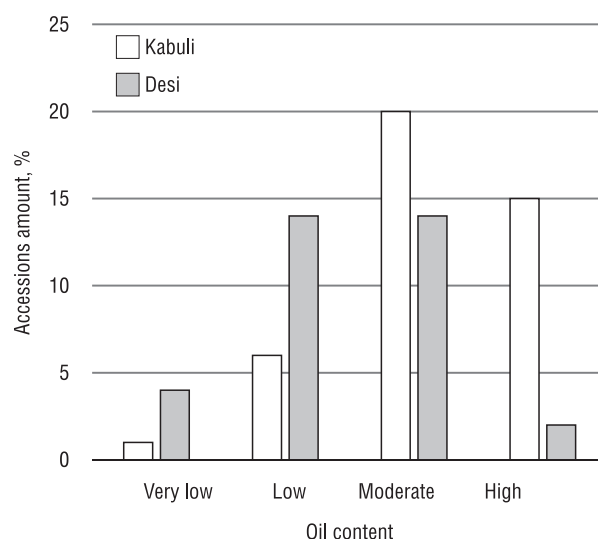


Fig. 1. Comparison of Chickpea Types According to the Oil Content in Seeds Scale

As a result, the accessions under investigation were categorized according to this scale. It was found that among the *kabuli* accessions, accessions with a moderate (10 accessions, 48 % of the entire *kabuli* sample) and high (8 accessions; 36 %) oil content in seeds were overwhelming. As to the *desi*-type, accessions with a low and moderate oil content in seeds were the most numerous (9 accessions of each type; 41 %).

The high stability of the trait under investigation allowed us to identify sources of high oil content in seeds. These accessions can be used in specialized breeding programs to create new genotypes with high oil content in chickpea seeds. T. M. Shah noted a more conspicuous increase in oil level when parental pairs of different morphological types (*kabuli* and *desi*) are crossed than when accessions belonging to the same morphological type are crossed [28]. Therefore, selection of accessions - sources of high oil content belonging to different types is a pre-requisite for further breeding to improve the nutritional qualities of chickpea.

A two-year study of accessions is sufficient to identify sources of high oil content in seeds. In 2017–2018, seeds of the *kabuli* accessions contained 5.78 % - 7.95 % (mean = 6.95 %) of oil. A high oil content (7.00 - 7.99 %) was recorded for 10 test *kabuli* accessions (47.62 %), which we recognized as sources of high oil content. These are Pamiat (Ukraine), NEC 2184 (Iran), UD0502111 (Russia) and others. There were no accessions with very high (above 8.00 %) oil content. The maximum oil level during the two study years was observed in Pamiat (Ukraine; 7.95 %), NEC 2184 (Iran; 7.79 %) and UD0502111 (Russia; 7.77 %).

As to the *desi*-type, the average oil content for the two study years was 5.89 %. A high oil level was only observed in 1 accession - Yaryna (Ukraine) - 7.13 %. The most of the *desi* accessions had a moderate (40.91 % of the sample) or a low (50 %) content of oil. Among the studied *desi* accessions,

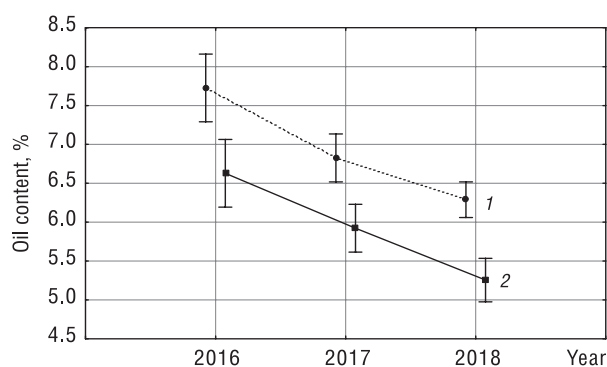


Fig. 2. Oil Content in Chickpea Seeds Depending the Year Conditions (1 - *kabuli*; 2 - *desi*). Oil content (%), Year, Type, LSM means, Hypothesis decomposition, Vertical bars denote 95 % confidence intervals

2 accessions with high oil content in seeds were identified: Yaryna (7.13 %) and Koloryt (6.91 %); the both cultivars have been bred in Ukraine and can be sources of this trait in the *desi*-type.

The accessions with the maximum expression of the trait of interest were selected as check accessions for their morphological types: cultivar Pamiat (Ukraine) for the *kabuli*-type and cultivar Yaryna (Ukraine) for the *desi*-type.

Unidirectional and similar fluctuations in the oil content were noted in both *kabuli* and *desi* accessions, depending on the year conditions (Fig. 2).

We found that the *kabuli*-type is superior to the *desi*-type in terms of oil content in seeds, regardless of the growing conditions.

**Conclusions.** Thus, our studies showed that the chickpea accessions of the NCPGRU's collection had a high oil content in seeds, which increases their value for breeding programs to develop new food cultivars for a balanced diet.

Valuable sources of high oil content in seeds (Pamiat (Ukraine), NEC 2184 (Iran) and UD0502111 (Russia) belonging to the *kabuli* type as well as Yaryna and Koloryt (Ukraine) belonging to the *desi*-type were identified. We recommend including them in breeding programs to develop new chickpea cultivars.

We experimentally developed the scale that is recommended for classification of chickpea accessions by oil content in seeds.

## References

1. Merga B., Haji J. Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 2019, vol. 5, no. 1, p. 1615718. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1615718>
2. Arora S. K. (ed.). *Chemistry and biochemistry of legumes*. London, Edward Arnold, 1983. 359 p.
3. Grela E. R., Günter K. D. Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Animal Feed Science and Technology*, 1995, vol. 52, no. 3-4, pp. 325-331. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00733-P](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00733-P)
4. Sharipova T. V., Mandro N. M. Prospects of using the grain legume chickpea in production of meat-vegetable foods for elderly nutrition. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2012, no. 12 (98), pp. 102-106 (in Russian).
5. Pashchenko L. P. Development of technique of bread, enriching seeds of a chick pea. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2009, no. 1, pp. 24-38 (in Russian).
6. Wood J. A., Grusak M. A. Nutritional value of chickpea. *Chickpea breeding and management*. Wallingford, 2007, pp. 101-142. <https://doi.org/10.1079/9781845932138.005>
7. Gül M. K., Egesel C. Ö., Turhan H. The effects of planting time on fatty acids and tocopherols in chickpea. *European Food Research and Technology*, 2008, vol. 226, no. 3, pp. 517-522. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0564-5>
8. Jukanti A. K., Gaur P. M., Gowda C. L. L., Chibbar R. N. Nutritional quality and food benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 2012, vol. 108, no. S1, pp. S11-S26. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000797>
9. Chitra U., Vimala V., Singh U., Geervani P. Variability in phytic acid content and protein digestibility of seed legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1995, vol. 47, no. 2, pp. 163-172. <https://doi.org/10.1007/bf01089266>
10. Wang T. L., Hadavizideh A., Harwood A., Welham T. J., Harwood W. A., Faulks R., Hedley C. L. An analysis of seed development in *Pisum sativum*. XIII. The chemical induction of storage product mutants. *Plant Breeding*, 1990, vol. 105, no. 4, pp. 311-320. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1990.tb01290.x>
11. Vasilenko A. A., Tymchuk S. M., Pozdnyakov V. V., Suprun O. G., Antsiferova O. V., Bezuglyi I. M. Content and fatty acid composition of oil in the seeds of pea starch-modifying mutants. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*, 2017, no. 3 (23), pp. 33-39 (in Russian).
12. De Almeida Costa G. E., Da Silva Queiroz-Monici K., Pissini Machado Reis S. M., De Oliveira A. C. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 2006, vol. 94, no. 3, pp. 327-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
13. Malunga L. N., Dadon S. B. -E., Zinal E., Berkovich Z., Abbo S., Reifen R. The potential use of chickpeas in development of infant follow-on formula. *Nutrition Journal*, 2014, vol. 13, no. 1, art. 8. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-8>
14. Rachwa-Rosiak D., Nebesny E., Budryn G. Chickpeas - composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, vol. 55, no. 8, pp. 1137-1145. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.687418>
15. De Giovanni C., Pavan S., Taranto F., Di Rienzo V., Miazzi M. M., Marcotrigiano A. R., Mangini G., Montemurro C., Ricciardi L., Lotti C. Genetic variation of a global germplasm collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.) including Italian accessions at risk of genetic erosion. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2017, vol. 23, no. 1, pp. 197-205. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0397-4>
16. Adamovska V. G., Molodchenkova O. O., Sichkar V. I., Kartuzova T. V., Levitsky Yu. A., Bezukrovna L. Ya. Biochemical characteristics of legumes genotypes of the South of Ukraine in the connection with the breeding for seed quality. *Zbirnik naukovikh prats' Seleksiino-genetichnogo institutu - Natsional'nogo tsentru nasinneznavstva ta sortovivchennya* [Collection scientific works of Institute of Breeding and Genetics - National Center for Variety Research and Seed Science]. Odessa, 2015, iss. 26 (66), pp. 107-123 (in Ukrainian).
17. Puzik V. K., Titova A. E. Classification and separation of sources of qualitative composition of chick-pea collections by the content of protein and olive. *Visnik Poltav's'koï derzhavnoï agrarnoi akademii = Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2018, no. 2, pp. 24-29 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.02.03>
18. Vus N. O., Kobizeva L. N. Sources of the complex price signs for nuts selection. *Biologiya ta valeologiya: zbirnik naukovikh prats'* [Biology and valeology: a collection of scientific papers]. Kharkiv, 2018, iss. 20, pp. 11-16 (in Ukrainian).
19. Shah H. U., Khan U. L., Alam S., Shad A. A., Iqbal Z., Parveen S. Effect of home cooking on the retention of various nutrients of commonly consumed pulses in Pakistan. *Sarhad Journal of Agricultural*, 2011, vol. 27, no. 2, pp. 279-284.
20. Avola G., Patanè C., Barbagallo R. N. Effect of water cooking on proximate composition of grain in the three Sicilian chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 2012, vol. 49, no. 2, pp. 217-220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.004>
21. Patanè C. Variation and relationships among nutritional traits in Sicilian genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Quality*, 2006, vol. 29, no. 3, pp. 282-293. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00074.x>

22. Dragičević V., Kratovalieva S., Dumanović Z., Dimov Z., Kravić N. Variations in level of oil, protein, and some antioxidants in chickpea and peanut seeds. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2015, vol. 2, no. 1, art. 2. <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0031-7>
23. Özer S., Karaköy T., Toklu F., Baloch F. S., Kilian B., Özkan H. Nutritional and physicochemical variation in Turkish kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces. *Euphytica*, 2010, vol. 175, no. 2, pp. 237-249. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0174-3>
24. Bulbula D. D., Urga K. Study on the effect of traditional processing methods on nutritional composition and anti nutritional factors in chickpea (*Cicer arietinum*). *Cogent Food & Agriculture*, 2018, vol. 4, no. 1, art. 1422370. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1422370>
25. Shah T. M., Iqbal Z., Asi M. R., Atta B. M. Induced genetic variability for fatty acids and oil contents in chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 419-426.
26. Zia-Ul-Haq M., Ahmad M., Iqbal S., Ahmad S., Ali H. Characterization and compositional studies of oil from seeds of desi Chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2007, vol. 84, no. 12, pp. 1143-1148. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1136-3>
27. Singhai B., Shrivastava S. K. Nutritive value of new chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2006, vol. 4, no. 1, pp. 48-53.
28. Frimpong A. *A study of chickpea (Cicer arietinum L.) seed starch concentration, composition and enzymatic hydrolysis properties*. A Thesis for the degree of doctor of philosophy. Saskatoon, Saskatchewan, 2010. 151 p.
29. Nobile C. G. M., Carreras J., Grosso R., Inga M., Silva M., Aguilar R., Allende M. J., Badini R., Martinez M. J. Proximate composition and seed lipid components of "kabuli"-type chickpea (*Cicer arietinum* L.) from Argentina. *Agricultural Sciences*, 2013, vol. 4, no. 12, pp. 729-737. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.412099>

### Information about authors

*Nadiia A. Vus* - Ph. D. (Agricultural). Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (142 Moskovskiyi Ave., Kharkiv 61061, Ukraine). E-mail: [vus.nadezhda@gmail.com](mailto:vus.nadezhda@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0001-7098-9158>

*Antonina A. Vasylenko* - Ph. D. (Agricultural). Breeding Legume Crops Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (142 Moskovskiyi Ave., Kharkiv 61061, Ukraine). E-mail: [avase2015@gmail.com](mailto:avase2015@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0003-0081-5894>

*Lyubov N. Kobzyeva* - D. Sc. (Agricultural). Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (142 Moskovskiyi Ave., Kharkiv 61061, Ukraine). E-mail: [l.n.kobzyeva@gmail.com](mailto:l.n.kobzyeva@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0003-3067-7971>

*Olha V. Besuhla* - Ph. D., (Agricultural). Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (142 Moskovskiyi Ave., Kharkiv 61061, Ukraine). E-mail: [izhikolga@mail.ru](mailto:izhikolga@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0002-1458-1630>

*Olha V. Antziferova* - Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (142 Moskovskiyi Ave., Kharkiv 61061, Ukraine). E-mail: [antsyferova.olya@gmail.com](mailto:antsyferova.olya@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-1466-1294>

*Serhii I. Sylenko* - Ph. D. (Agricultural). Ustymivka Experimental station of the Plant Production, Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS (15 Akademika Vavilova Str., Ustymivka village 39074, Hlobyno District, Poltava Region, Ukraine). E-mail: [s.sylenko@ukr.net](mailto:s.sylenko@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0001-7248-5463>

### Информация об авторах

*Вус Надежда Алексеевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетических ресурсов зернобобовых и крупяных культур, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины (пр. Московский, 142, 61061 Харьков, Украина). E-mail: [vus.nadezhda@gmail.com](mailto:vus.nadezhda@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0001-7098-9158>

*Василенко Антонина Александровна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции зернобобовых культур, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины (пр. Московский, 142, 61061 Харьков, Украина). E-mail: [avase2015@gmail.com](mailto:avase2015@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0003-0081-5894>

*Кобзыева Любовь Никифоровна* – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности директора, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины (пр. Московский, 142, 61061 Харьков, Украина). E-mail: [l.n.kobzyeva@gmail.com](mailto:l.n.kobzyeva@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0003-3067-7971>

*Безуглая Ольга Николаевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лаборатории генетических ресурсов зернобобовых и крупяных культур, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины (пр. Московский, 142, 61061 Харьков, Украина). E-mail: [izhikolga@mail.ru](mailto:izhikolga@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0002-1458-1630>

*Анциферова Ольга Васильевна* – младший научный сотрудник лаборатории генетики, биотехнологии и качества, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины (пр. Московский, 142, 61061 Харьков, Украина). E-mail: [antsyferova.olya@gmail.com](mailto:antsyferova.olya@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-1466-1294>

*Силенко Сергей Иванович* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории зернобобовых, крупяных культур и кукурузы, Устимовская опытная станция Института растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук (ул. Академика Вавилова, 15, 39074 с. Устимовка, Глобинский р-н, Полтавская обл., Украина). E-mail: [s.sylenko@ukr.net](mailto:s.sylenko@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0001-7248-5463>



**ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА**  
**ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE**

УДК 636.085.522.2:636.085.7  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-205-214>

Поступила в редакцию 30.07.2020  
Received 30.07.2020

**А. Г. Тулинов, А. Ю. Лобанов**

*Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Республика Коми, Россия*

**ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА ИЗ ЕЖИ СБОРНОЙ  
(*DACTYLIS GLOMERATA* L.) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВОГО КОНСЕРВАНТА**

**Аннотация:** Важнейшая задача для дальнейшего развития животноводства – увеличение производства кормов, повышение их качества и снижение себестоимости. Важным в этих условиях становится параллельное развитие двух направлений – создание высокопродуктивных агроценозов и развитие технологий, способных полученную кормовую массу сохранить для дальнейшего использования в зимний период. Ценным компонентом в травосмесях при создании высокопродуктивных сенокосов в Северо-Западном регионе является ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), которая в условиях Севера формирует достаточно высокий урожай кормовой массы, так как хорошо отзывается на внесение удобрений. На базе Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар) разработано устройство для обработки сенажа углекислым газом. Для определения эффективности использования данного приема при заготовке сенажа из ежи сборной были проведены две серии опытов – лабораторный и полевой. В ходе лабораторного опыта провели эксперимент по плану Бокса-Бенкена второго порядка для четырех факторов с тремя уровнями варьирования. В результате были определены оптимальные параметры работы устройства: плотность сырья; объем сырья, обрабатываемый одной форсункой; расход газового консерванта и его доза. В полевом опыте провели обработку сенажа в рулонах согласно определенным оптимальным параметрам. Полученный корм сравнили по качеству с сенажом, приготовленным из этого же сырья с соблюдением стандартной технологии, но без применения каких-либо консервантов. В результате исследований установлено, что наиболее эффективно углекислый газ при заготовке ежи сборной в качестве сырья для сенажа действует при следующих параметрах: плотность прессования сенажной массы – 290–330 кг/м<sup>3</sup>; влажность сырья – 53–55 %; доза вносимого в сенаж углекислого газа  $(0,40–0,50) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; расход двуокиси углерода через редуктор подачи газа – 0,50–0,60 м<sup>3</sup>/ч. Это обеспечивает повышение сбора кормовых единиц в 1 кг корма на 0,3, обменной энергии – на 0,4 МДж, переваримого протеина – на 1 г. **Благодарности.** Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № 0412-2019-0051, рег. № НИОКТР АААА-А20-120 022 790 009-4.

**Ключевые слова:** высокопродуктивные сенокосы, травосмеси, заготовка кормов, ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), сенаж, консерванты, углекислый газ, питательная ценность

**Для цитирования:** Тулинов, А. Г. Обоснование основных конструктивно-технологических параметров технологии заготовки сенажа из ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) с использованием газового консерванта / А. Г. Тулинов, А. Ю. Лобанов // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 205–214. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-205-214>

Aleksei G. Tulinov, Aleksander Y. Lobanov

*Institute of Agrobiotechnology Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Komi Republic, Russia*

**SUBSTANTIATION OF THE BASIC CONSTRUCTIVE-AND-TECHNOLOGICAL PARAMETERS  
OF TECHNOLOGY FOR PREPARING HAYLAGE OF THE COCKSFOOT (*DACTYLIS GLOMERATA* L.)  
USING GAS PRESERVATIVE**

**Abstract:** The most important task for the further development of animal breeding is increase of production of feed, increase of its quality and reduction of production costs. Important thing in these conditions is the parallel development of two areas - creation of highly productive agrocenoses and development of technologies capable of saving the obtained feed mass for future use during winter period. A valuable component in grass mixtures when creating highly productive hayfields in the North-West region is the cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.), which in the North conditions forms rather high yield of feed mass, as soon as it responds to fertilizer application properly. On the basis of the Institute of Agrobiotechnology Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komi Republic, Syktyvkar), a device has been developed for treating haylage by carbon dioxide. To determine the efficiency of this technique when harvesting haylage of cocksfoot, two series of experiments were carried out - laboratory and field. In the course of the laboratory experiment, we conducted an experiment according to the Box-Behnken plan of the second order for four factors with three levels of variation. The optimal parameters of the device were determined as a result: density of raw materials; volume of raw material processed by one spray nozzle; gas preservative consumption and its dose. In the field experiment, haylage was processed in rolls according to certain optimal parameters. The feed obtained was compared in terms of quality with haylage prepared of the same raw material in compliance with standard technology, but with no preservatives. As a result of the studies, it has been determined that carbon dioxide is most effective when harvesting the cocksfoot as raw material for haylage, with the following parameters: density of pressing the hay mass - 290-330 kg/m<sup>3</sup>; moisture content of raw materials - 53-55 %; dose of carbon dioxide introduced into the haylage -  $(0.40-0.50) \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/kg; carbon dioxide consumption through a gas supply reducer 0.500.60 m<sup>3</sup>/h. This provides an increase in feed units in one kilogram of feed by 0.3, exchange energy - by 0.4 MJ, digestible protein - by 1 g. **Acknowledgements.** The research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the State assignment N 0412-2019-0051, Reg. N SREDTW AAAA-A20-120 022 790 009-4.

**Keywords:** highly productive hayfields, grass mixtures, forage preparation, cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.), haylage, preservatives, carbon dioxide, nutritional value

**For citation:** Tulinov A. G., Lobanov A. Y. Substantiation of the basic constructive-and-technological parameters of technology for preparing haylage of the cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) using gas preservative. *Vestsi Natsyyanal'най akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 205-214 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-205-214>

**Введение.** Важнейшая задача для дальнейшего развития животноводства – увеличение производства кормов, повышение их качества и снижение себестоимости. Неустойчивые погодные условия в Республике Коми, в свою очередь, создают большие проблемы при заготовке высококачественного корма для крупного рогатого скота. Частые дожди в период оптимального укоса травы на корм не позволяют просушить ее до необходимой для сенажа влажности, а ведь именно сенаж является наиболее оптимальным кормом для молочного стада, обеспечивающим его всем необходимым [1]. Важным в этих условиях становится параллельное развитие двух направлений – создание высокопродуктивных агроценозов [2–4] и развитие технологий, способных полноценную кормовую массу сохранить для дальнейшего использования в зимний период [5, 6].

Ценным компонентом в травосмесях при создании высокопродуктивных сенокосов в Северо-Западном регионе является ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – многолетнее кормовое злаковое растение [7, 8]. Ежа сборная в условиях Севера формирует достаточно высокий урожай кормовой массы [9–11], так как хорошо отзывается на внесение удобрений [12–15]. Ежа сборная является наиболее ценным и пригодным растением для хозяйственного использования. В среднем в первые десять лет средняя урожайность сухой массы составляет 12,3 т/га [16]. Многочисленные исследования подтверждают целесообразность использования ежи сборной в качестве кормовой культуры при заготовке сенажа [17–19].

На базе Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия) разработано устройство для обработки сенажа углекислым газом<sup>1</sup>. Данное устройство обеспечивает равномерную подачу газового консерванта (углекислого газа) в прессованную

<sup>1</sup> Мобильный комплекс для создания анаэробной среды в сенаже : пат. RU 2555435 / А.Ю. Лобанов, А.Ф. Триандафилов. Оpubл. 10.07.2015.

сенажную массу. Для этого устройство снабжено источником жидкой углекислоты, которая через распределительный редуктор с определенным расходом подается через стальную штангу. Предварительно введенная в обмотанный в полимерную пленку рулон сенажа штанга обеспечивает равномерную непрерывную подачу углекислого газа, который за счет своего молекулярного веса вытесняет кислород воздуха из травяного сырья. Изначально его количество в сенаже весьма велико, что позволяет аэробной микрофлоре активно вести жизнедеятельность, на которую расходуется питательная ценность корма, происходит накопление различных кислот. Аэробная фаза может протекать от 3 до 5 дней. Удаление кислорода из сенажа приводит к моментальному переходу от аэробной фазы к анаэробной. Это позволяет сократить расход углеводов и снизить температуру заложенной на хранение массы [20].

Цель настоящей работы – обоснование основных конструктивно-технологических параметров технологии заготовки сенажа из ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) с использованием газового консерванта.

**Материалы и методы исследования.** На базе Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия) разработано устройство для обработки сенажа углекислым газом. Для определения эффективности использования данного приема при заготовке сенажа из ежи сборной были проведены две серии опытов – лабораторный и полевой.

Исследования проводили в соответствии с планом четырехфакторного эксперимента второго порядка Бокса-Бенкена, где функцией отклика принята температура саморазогрева корма  $Y_1$  ( $t$ , °C), содержание протеина  $Y_2$  (%), кормовых единиц  $Y_3$  (ед/кг). Факторы и уровни варьирования представлены в табл. 1. Уровни варьирования факторов определяли согласно теоретическим расчетам скважности травяного сырья [21]. Было поставлено 27 опытов в трехкратной повторности. В качестве контроля произвели закладку опыта по стандартной технологии (плотность прессования – 250 кг/м<sup>3</sup>) без внесения каких-либо консервантов [22, 23].

Таблица 1. Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Table 1. Factors, their levels and ranges of variation

Кодированное обозначение фактора	Фактор	Уровень фактора		
		нижний (–1)	основной (0)	верхний (+1)
$x_1$	Плотность прессования $p$ сенажной массы, кг/м <sup>3</sup>	250	300	350
$x_2$	Доза внесения консерванта $q$ , 10 <sup>–3</sup> м <sup>3</sup> /кг	0,30	0,45	0,60
$x_3$	Объем сенажной массы в зоне обработки одного распылителя $Q$ , 10 <sup>–3</sup> м <sup>3</sup>	48	96	144
$x_4$	Расход газа $V_0$ газа, м <sup>3</sup> /ч	0,30	0,50	0,70

Схема устройства для проведения лабораторного эксперимента представлена на рис. 1 и состоит из баллона 1 с углекислым газом объемом 40 л с запорным вентилем 2, к которому подключен редуктор 3 с расходомером. К редуктору с помощью гибкого шланга 4 с внутренним диаметром 6 мм подсоединена штанга 5, на конце которой закреплен распылитель из нержавеющей стали. Распылитель погружается в середину навески травяной массы 7, запрессованной в высокопрочном большеобъемном пленочном мешке 7, снабженным закрывающейся герметично горловиной. После введения консерванта устанавливается термометр 6, и мешок герметизируется.

Для исследований использовали травяное сырье из ежи сборной сорта Нева влажностью 53–55 % с длиной резки 50–70 мм, убранную в период выхода в трубку – колошение [24]<sup>2</sup>.

Введение консерванта контролировали с помощью расходомера, установленного на газовом редукторе. За изменением температуры наблюдали в течение 5 дней после консервирования. Температура саморазогрева не должна превышать 37–38 °C, в противном случае исследуемый вариант выбраковывался.

Математическую обработку результатов проводили в программе STATGRAPHICS Plus 5.0.

<sup>2</sup> Методические указания по селекции многолетних злаковых трав / В.М. Косолапов [и др.] ; Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов. М. : Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. 51 с.

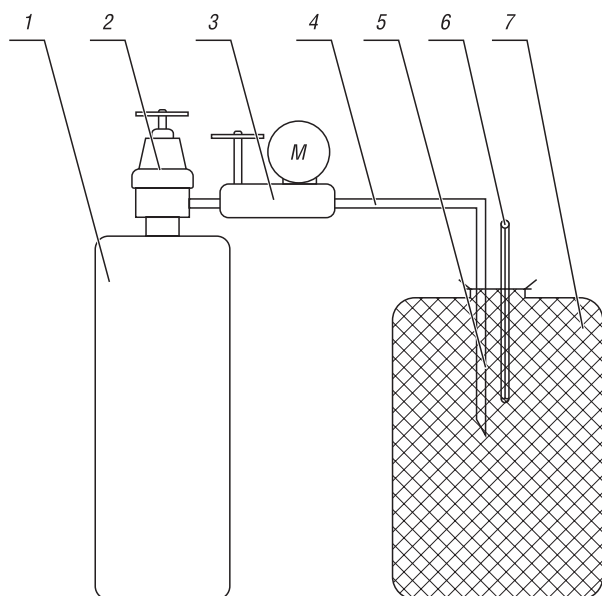


Рис. 1. Схема лабораторного устройства: 1 – газовый баллон; 2 – вентиль; 3 – редуктор; 4 – гибкий шланг; 5 – штанга с распылителем; 6 – термометр; 7 – травяная масса в герметичной упаковке

Fig. 1. Scheme of laboratory device: 1 - gas cylinder; 2 - valve; 3 - reducer; 4 - a flexible hose; 5 - rod with a spray; 6 - thermometer; 7 - herbal mass in sealed packaging

После определения оптимальных параметров по заготовке сенажа из ежи сборной был проведен полевой опыт с использованием данных параметров. Сенаж, заготовленный по технологии рулонных рукавов с плотностью прессования  $300 \text{ кг/м}^3$ , обработали углекислым газом в дозе  $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  сразу после герметизации травяной массы полимерной пленкой. Обработку производили одним распылителем с расходом  $0,55 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Отбор проб проводили по методике через три месяца после закладки [25].

**Результаты и их обсуждение.** Получена следующая модель регрессии влияния исследуемых факторов на температуру саморазогрева корма ( $T$ , °C), содержание протеина (%) и кормовых единиц (ед/кг) ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ), проверенная на адекватность по  $F$ -критерию Фишера (вероятность  $p = 0,95$ ),  $R_2 = 96,9\%$ :

$$Y_1 = 96,2604 - 0,4008x_1 + 32,9167x_2 + 20,8333x_3 + 2,9166x_4 + 0,0005x_1^2 - 51,3889x_2^2;$$

$$Y_2 = 3,7699 + 0,0308x_1 + 7,5555x_2 - 42,7951x_3 - 8,6250x_4 + 59,8958x_3^2;$$

$$Y_3 = 0,0692 + 0,0029x_1 + 3,8069x_2 - 0,7118x_3 - 3,9296x_4 - 3,2175x_2^2 + 3,22838x_4^2.$$

Изучение уравнений регрессии и двумерных сечений поверхностей отклика позволило установить следующие закономерности влияния изучаемых факторов на температуру саморазогрева ( $Y_1$ , °C) травяной массы:

- плотность прессования оказывает значительное влияние на температуру саморазогрева сенажа (рис. 2, *b*). При закладке травяной массы с плотностью  $290\text{--}310 \text{ кг/м}^3$  и обработке минимальной дозой консерванта температура не поднималась выше  $31^\circ\text{C}$ . Увеличение плотности прессования более  $350 \text{ кг/м}^3$  позволяет полностью отказаться от применения консервантов, что согласуется с исследованиями многих авторов. Однако достижение такой плотности прессования во всем объеме сенажа весьма проблематично;

- внесение  $0,39 \text{ м}^3/\text{кг}$  углекислого газа в сенаж (рис. 2, *b*) позволило удержать температуру саморазогрева травяной массы на приемлемом уровне  $35^\circ\text{C}$  при наименьшей плотности прессования  $250 \text{ кг/м}^3$ ;

- повышение дозы до  $0,49\text{--}0,59 \text{ м}^3/\text{кг}$  при плотности прессования  $270\text{--}310 \text{ кг/м}^3$  обеспечивает созревание сенажа без саморазогрева. Температура в данных вариантах варьировалась в пределах  $20\text{--}30^\circ\text{C}$ , что практически не отличается от внешних условий среды. Таким образом, можно сделать вывод, что применение данной дозы консерванта обеспечивает необходимый уровень подавления процессов брожения;

- разница температуры саморазогрева травяной массы между вариантом с максимальной дозой консерванта при минимальной плотности ( $0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $250 \text{ кг/м}^3$  соответственно) и минимальной дозой при максимальной плотности ( $0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $350 \text{ кг/м}^3$  соответственно) составляет  $7^\circ\text{C}$  ( $29$  и  $22^\circ\text{C}$  соответственно);

- при увеличении объема обрабатываемого материала при сохранении места введения консерванта в одной точке в три раза (рис. 2, *c*) температура саморазогрева травяного сырья повышалась всего на  $2^\circ\text{C}$ , что говорит о достаточной скорости диффузии газового консерванта внутри травяного сырья и ингибирования процессов жизнедеятельности микроорганизмов;

- увеличение расхода углекислого газа в сенажную массу с  $0,3$  до  $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$  увеличивает температуру саморазогрева на  $2^\circ\text{C}$ . Это связано с пористой структурой сенажной массы, внутри которой имеется запас кислорода, вытесняемого углекислым газом. Увеличение расхода приводит



к нарушению равномерности распределения углекислого газа в сенажной массе, в результате чего остается невытесненный кислород, используемый микроорганизмами для жизнедеятельности. Данная жизнедеятельность приводит к повышению температуры сенажа;

– не установлено значимого влияния воздействия объема сенажной массы в зоне обработки одного распылителя ( $Q$ ) и расхода газа ( $V_0$ ) на температуру саморазогрева сырья по сравнению с влиянием таких факторов, как плотность прессования ( $p$ ) и доза консерванта ( $q$ ) при атмосферном давлении.

Изучение уравнений регрессии и двумерных сечений поверхностей отклика позволило установить следующие закономерности влияния изучаемых факторов на содержание протеина ( $Y_2$ , %) в готовом сенаже:

– при анализе уравнений регрессии наблюдали линейную зависимость между всеми исследуемыми факторами. При этом содержание протеина прямо пропорционально плотности прессования и дозе консерванта и обратно пропорционально расходу консерванта и массе обрабатываемой одной форсункой;

– увеличение дозы консерванта (рис. 3, а) на  $0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$  в среднем позволяет сохранить на 1,2 % протеина в сенажной массе;

– наиболее интенсивное влияние увеличения дозы консерванта на сохранность протеина наблюдали в промежутке  $0,39\text{--}0,59 \text{ м}^3/\text{кг}$  при увеличении плотности прессования от 270 до  $310 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

– наиболее значимое влияние на содержание протеина в сенажной массе (рис. 3, б) оказывает плотность прессования в пределах  $250\text{--}310 \text{ кг}/\text{м}^3$ . При этом содержание протеина повышается от 7,8 до 9,7 %. При прессовании травяной массы плотностью  $310\text{--}350 \text{ кг}/\text{м}^3$  содержание протеина составляет 9,7–10,9 %;

– в среднем увеличение дозы консерванта на  $0,03 \text{ м}^3/\text{кг}$  позволяет обеспечить повышение сохранности протеина на 0,2 % (рис. 3, с);

– разница в содержании протеина в корме между вариантом с максимальной дозой консерванта при минимальной плотности ( $0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $250 \text{ кг}/\text{м}^3$  соответственно) и минимальной дозой при максимальной плотности ( $0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $350 \text{ кг}/\text{м}^3$  соответственно) составляет 0,8 %;

– увеличение объема травяного сырья на  $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ , обрабатываемого одной форсункой, приводит к снижению содержания протеина в корме на 0,3 %, а снижение расхода углекислого газа на  $0,05 \text{ м}^3/\text{ч}$  – к повышению содержания протеина в сенаже на 0,3 %. Это указывает на зависимость качества диффузии углекислого газа от обрабатываемого объема и равномерности его распределения в травяной массе при внесении.

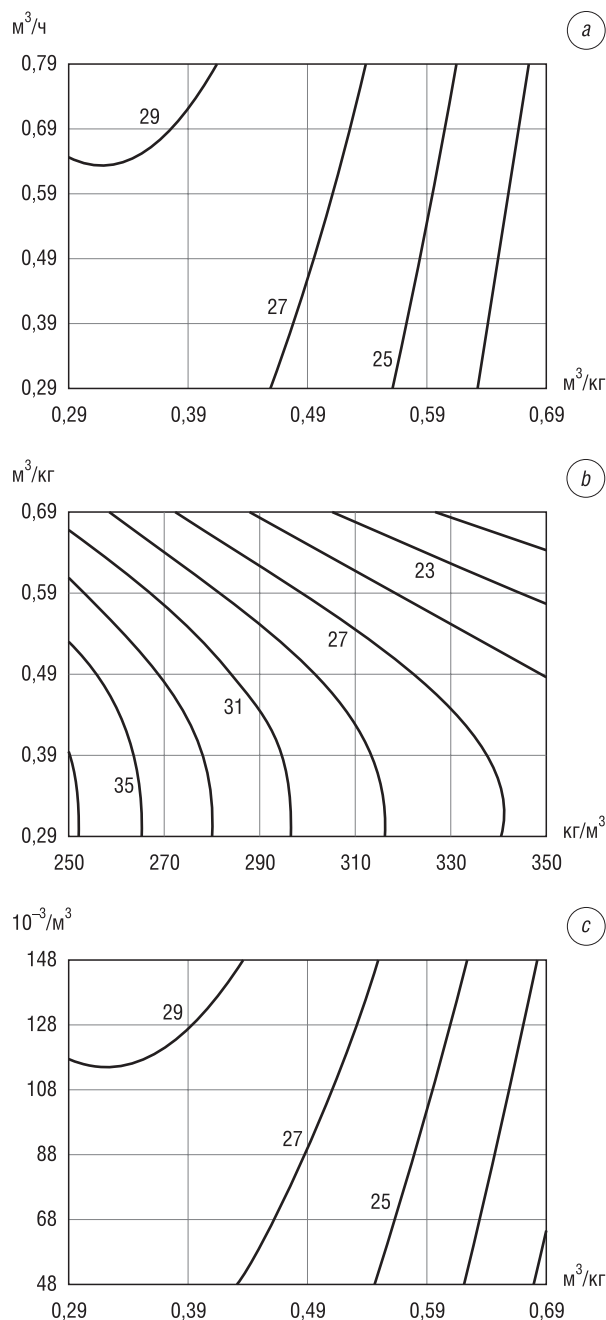


Рис. 2. Двумерные сечения поверхности отклика температуры саморазогрева сенажа  $Y_1 (T, ^\circ\text{C})$ : а)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ; б)  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

Fig. 2. Two-dimensional cross-sections of the response surfaces of the self-heating temperature of haylage  $Y_1 (T, ^\circ\text{C})$ : а)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ; б)  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{h}$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{h}$

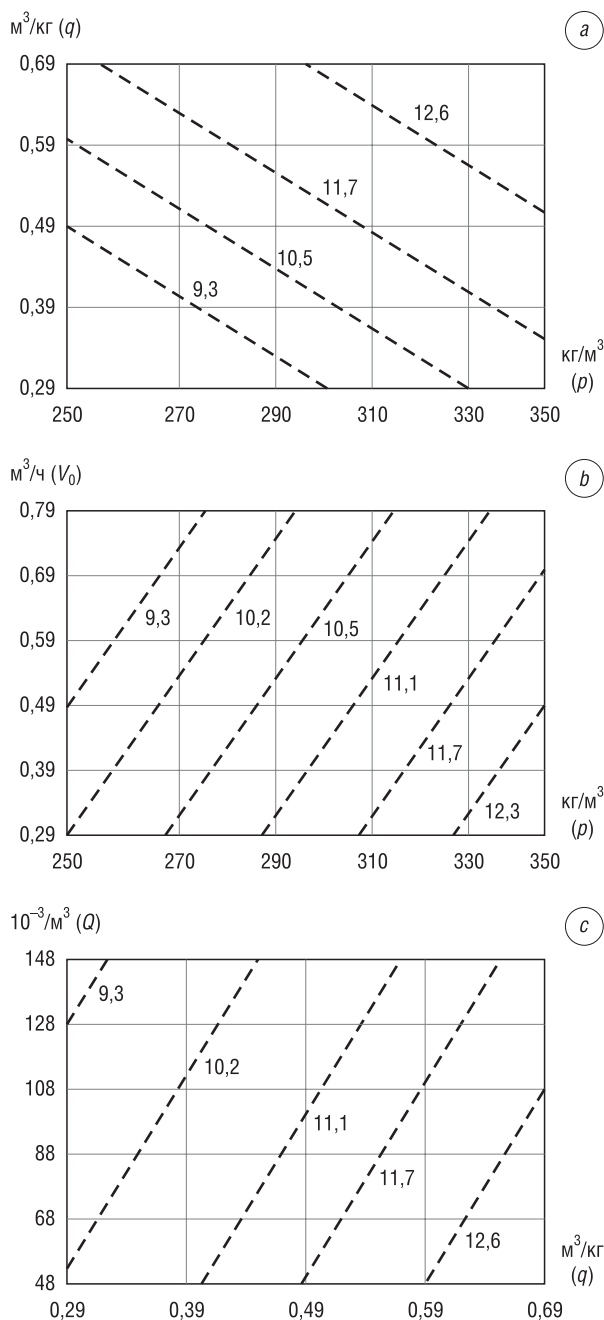


Рис. 3. Двумерные сечения поверхностей отклика содержания протеина сенажа  $Y_2$  (%): а)  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; б)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

Fig. 3. Two-dimensional cross-sections of the response surfaces of the protein content of haylage  $Y_2$  (%): а)  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; б)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

в дозе  $(0,40–0,50) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Расход в дозе  $0,50–0,60 \text{ м}^3/\text{ч}$  обеспечивает достаточную равномерность распределения углекислого газа в сенаже объемом до  $1 \text{ м}^3$ .

Сенаж из ежи сборной обработали согласно определенным оптимальным параметрам в ходе полевого эксперимента. Результаты данного эксперимента отображены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показал, что применение углекислого газа при заготовке сенажа из ежи сборной благоприятно влияет на повышение качества корма. Так, содержание кормовых единиц в 1 кг корма – на 0,3, обменной энергии на 0,4 МДж, переваримого протеина – на 1 г.

Изучение уравнений регрессии и двумерных сечений поверхностей отклика позволило установить следующие закономерности влияния изучаемых факторов на содержание кормовых единиц ( $Y_3$ , ед/кг) в готовом сенаже:

1) установлено незначительное влияние объема материала, обрабатываемого одной форсункой (рис. 4 а). Так, снижение объема подаваемого газа с  $128 \cdot 10^{-3}$  до  $68 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при расходе  $0,59 \text{ м}^3/\text{ч}$  позволило увеличить сбор кормовых единиц всего на 0,04 ед/кг. Аналогичный результат наблюдали при снижении объема с  $148 \cdot 10^{-3}$  до  $88 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при дозе консерванта  $0,59 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

2) повышение плотности прессования на  $20 \text{ кг}/\text{м}^3$  при неизменных прочих факторах в среднем обеспечило повышение сбора кормовых единиц на 0,07 ед/кг (рис. 4, б);

3) увеличение массовой дозы консерванта от  $0,29$  до  $0,49 \text{ м}^3/\text{кг}$  обеспечило повышение сбора кормовых единиц на 0,24 ед/кг. Дальнейшее увеличение дозы оказало незначительное влияние на сохранность кормовых единиц в сенаже (рис. 4, в);

4) оптимальный расход углекислого газа составил  $0,39–0,59 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При данном расходе можно обеспечить максимальный сбор кормовых единиц (рис. 4, а);

5) применение углекислого газа в дозе  $0,59 \text{ м}^3/\text{кг}$  позволяет максимизировать сбор кормовых единиц в точке внесения углекислого газа в сенажную массу. Увеличение обрабатываемого объема на  $60 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  приводит к постепенному снижению сбора кормовых единиц на 0,04 (рис. 4, в).

Таким образом, в результате исследования моделей регрессии влияния исследуемых факторов (плотность прессования  $p$  сенажной массы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; доза внесения консерванта  $q$ ,  $10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  при атмосферном давлении; объем сенажной массы в зоне обработки одного распылителя  $Q$ ,  $\text{м}^3$ ; расход газа  $V_0$  газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) на температуру саморазогрева корма ( $T$ , °C), содержание протеина (%) и кормовых единиц (ед/кг) установлено, что наиболее эффективно углекислый газ действует при заготовке сенажа из ежи сборной плотностью  $290–330 \text{ кг}/\text{м}^3$

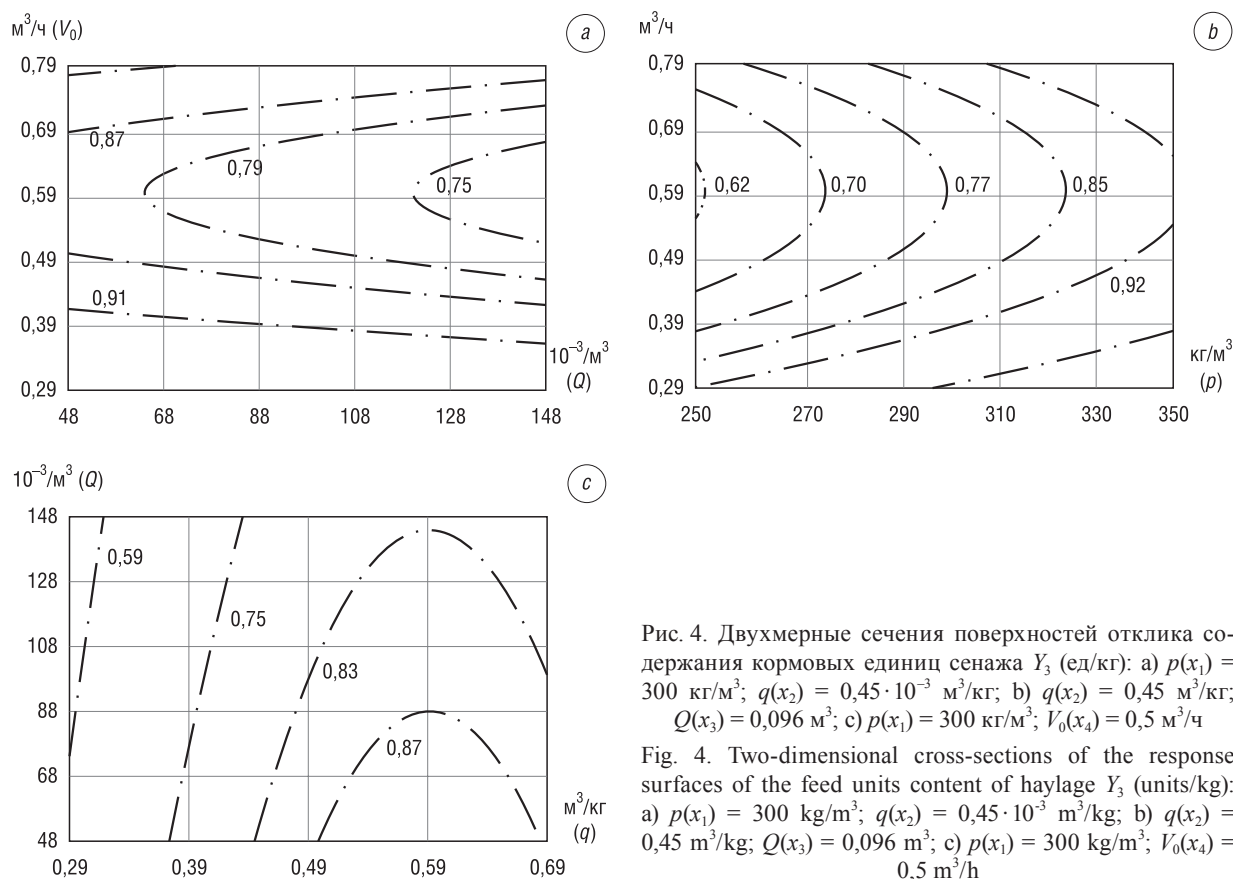


Рис. 4. Двухмерные сечения поверхностей отклика содержания кормовых единиц сенажа  $Y_3$  (ед/кг): а)  $p(x_1) = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $q(x_2) = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; б)  $q(x_2) = 0,45 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

Fig. 4. Two-dimensional cross-sections of the response surfaces of the feed units content of haylage  $Y_3$  (units/kg): а)  $p(x_1) = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $q(x_2) = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; б)  $q(x_2) = 0,45 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $Q(x_3) = 0,096 \text{ м}^3$ ; в)  $p(x_1) = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $V_0(x_4) = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

Т а б л и ц а 2. Результаты полевых испытаний заготовки сенажа из ежи сборной с применением углекислого газа

Table 2. The results of field tests of harvesting haylage from cocksfoot with using carbon dioxide

Вариант опыта	Химический состав, %.				Содержание в 1 кг корма.		
	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырая зола	Сырой жир	Кормовые единицы	Обменная энергия, МДж	Переваримый протеин, г
Базовая технология	8,3	26,8	2,6	2,3	0,29	5,9	18
Разработанная технология	9,6	24,5	2,9	2,2	0,32	6,3	19

**Закключение.** Таким образом, исследования показали, что наиболее эффективно углекислый газ при заготовке ежи сборной в качестве сырья для сенажа действует при следующих параметрах: плотность прессования сенажной массы –  $290\text{--}330 \text{ кг/м}^3$ ; влажность сырья –  $53\text{--}55 \%$ ; доза вносимого в сенаж углекислого газа –  $(0,40\text{--}0,50) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; расход двуокиси углерода через редуктор подачи –  $0,50\text{--}0,60 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Это обеспечивает повышение сбора кормовых единиц в 1 кг корма на 0,3, обменной энергии – на 0,4 МДж, переваримого протеина – на 1 г.

**Благодарности.** Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № 0412-2019-0051, рег. № НИОКТР АААА-А20-120022790009-4.

#### Список использованных источников

1. Хохрин, С. Н. Микробиологические основы консервирования зеленых кормов / С. Н. Хохрин. – СПб.: Проспект Науки, 2017. – 190 с.
2. Стружжина, Т. М. Селекционная ценность зарубежных образцов ежи сборной / Т. М. Стружжина // Кормопроизводство. – 2009. – № 6. – С. 22–25.

3. Наумова, Т.В. Результаты оценки коллекционных образцов ежи сборной в условиях Приморского края / Т.В. Наумова, А.Н. Емельянов // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. – 2015. – №8 (130). – С. 22–27.
4. Чувилина, В.А. Преимущества хозяйственно полезных признаков селекционного номера ежи сборной СН-1/2 в предварительном сортоиспытании / В.А. Чувилина // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 38–41.
5. Триандафилов, А.Ф. Способы и технические средства повышения эффективности обработки сена химическими консервантами : дис. ...канд. тех. наук : 05.20.01 / А.Ф. Триандафилов. – Л. : Пушкин, 1986. – 156 л.
6. Лобанов, А.Ю. Режимы и параметры технологии обработки сенажа углекислым газом в условиях Республики Коми / А.Ю. Лобанов, А.Ф. Триандафилов // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – №4 (53). – С. 75–80. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2016.53.4.75-80>
7. Зверева, Г.К. Использование ежи сборной при улучшении естественных деградированных пастбищ лесостепи / Г.К. Зверева, Е.В. Боголюбова // Кормопроизводство. – 2000. – №4. – С. 15–16.
8. Тулинов, А.Г. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных образцов ежи сборной в условиях северного региона / А.Г. Тулинов, Т.В. Косолапова // Вестн. НГАУ. – 2019. – №3 (52). – С. 67–73. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-67-73>
9. Уразова, Л.Д. Селекция ежи сборной в условиях таежной зоны Томской области / Л.Д. Уразова, О.В. Ложкина // Науч. жизнь. – 2012. – №3. – С. 18–24.
10. Уразова, Л.Д. Зимостойкость ежи сборной в экстремальных условиях таежной зоны / Л.Д. Уразова, О.В. Литвинчук // Науч. жизнь. – 2018. – № 10. – С. 64–76.
11. Тулинов, А.Г. Продуктивность образцов ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) в условиях Севера / А.Г. Тулинов, Т.В. Косолапова // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 38–41.
12. Демина, М.И. Урожайность овсяницы тростниковой и ежи сборной на увлажненных местах при разном уровне азотного питания / М.И. Демина, А.В. Соловьев // Аграр. Россия. – 2012. – №3. – С. 2–4. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2012-3-2-4>
13. Лазарев, Н.Н. Влияние азотных удобрений на урожайность пастбищных травосмесей на основе райграса пастбищного, ежи сборной и клевера ползучего / Н.Н. Лазарев, Т.В. Костинова, А.И. Беленков // Плодородие. – 2016. – №3 (90). – С. 24–27.
14. Wiśniewska-Kadżajan, B. Concentrations of K, Mg and Na and their ionic relations in *Dactylis glomerata* L. Biomass grown in soil with mushroom substrate and mineral fertilizers / B. Wiśniewska-Kadżajan, E. Malinowska, M. Misiak // Appl. Ecology a. Environmental Research. – 2017. – Vol. 15, N 3. – P. 1269–1278. [https://doi.org/10.15666/aecr/1503\\_12691278](https://doi.org/10.15666/aecr/1503_12691278)
15. Tilvikienė, V. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) / V. Tilvikienė, A. Šlepetienė, Ž. Kadžiulienė // Grass a. Forage Science. – 2018. – Vol. 73, N 1. – P. 206–217. <https://doi.org/10.1111/gfs.12306>
16. Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) / С.И. Костенко [и др.] // Основные виды и сорта кормовых культур. Итоги научной деятельности Центрального селекционного центра / Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов. – М., 2015. – С. 187–190.
17. Корма Республики Татарстан: состав, питательность и использование : справочник / Л.П. Зарипова [и др.] ; Тат. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Казань : Фолиант, 2010. – 271 с.
18. Справочник по кормопроизводству / В.М. Косолапов [и др.] ; Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Россельхозакадемия, 2014. – 717 с.
19. Система земледелия Республики Коми / Г.Т. Шморгунов [и др.]. – Сыктывкар : ГОУ ВО КРАГСиУ, 2017. – 225 с.
20. Using carbon dioxide for fodder conservation / A. F. Triandafilov [et al.] // J. of Pharmaceutical a. Research. – 2017. – Vol. 9, N 5. – P. 728–731.
21. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей: инженерные методы расчета : пер. с пол. / С. Бретшнайдер ; под ред. П.Г. Романкова. – М. ; Л. : Химия, 1966. – 536 с.
22. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.
23. Москаленко, С.П. Теоретическое и практическое обоснование использования сенажа в мягкой упаковке в рационах крупного рогатого скота : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.02.02 / С.П. Москаленко. – Саранск, 2006. – 323 л.
24. Тулинов, А.Г. Результаты оценки коллекционных образцов *Dactylis glomerata* L. в условиях Республики Коми / А.Г. Тулинов, Т.В. Косолапова, Е.А. Михайлова // Земледелие. – 2019. – №3. – С. 41–43. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10311>
25. Таранов, Н.Г. Химическое консервирование кормов / Н.Г. Таранов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1982. – 143 с.

## References

1. Khorkhin S.N. Mikrobiologicheskie osnovy konservirovaniya zelenykh kormov: uchebnoe posobie [*The microbiological basics of conserving green feed: a tutorial*]. St. Petersburg, Prospekt Nauki, 2017, 192 p. (in Russian).
2. Struzhikina T.M. Selektionnaya tsennost' zarubezhnykh obraztsov ezhi sbornoi [*Selective significance of the foreign samples of *Dactylis glomerata* L.*]. Kormoproizvodstvo = Fodder Production, 2009, no. 6, pp. 22-25. (in Russian).
3. Naumova T. V., Emel'yanov A.N. Rezul'taty otsenki kollektсионnykh obraztsov ezhi sbornoi v usloviyakh Primorskogo kraia [*The results of evaluating the collection accessions of *Dactylis glomerata* L. under the conditions of the Primorsky Krai*]. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University, 2015, no. 8(130), pp. 22-27. (in Russian).



4. Chuvilina V. A. Preimushchestva khozyaistvenno poleznykh priznakov selektsionnogo nomera ezhi sbornoi SN-1/2 v predvaritel'nom sortoispytanii [Preliminary trial of cocksfoot genotype sn-1/2 as a carrier of economically important traits]. Kormoproizvodstvo = Fodder Production, 2018, no. 11, pp. 38-41. (in Russian).
5. Triandafilov A. F. Sposoby i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti obrabotki sena khimicheskimi konservantami. Dis. kand. tekhn. nauk [Methods and technical means of increasing the efficiency of hay treatment with chemical preservatives. Cand. tech. sci. diss.]. Leningrad-Pushkin, 1986. 156 p. (in Russian).
6. Lobanov A. Yu., Triandafilov A. F. Rezhimy i parametry tekhnologii obrabotki senazha uglekislym gazom v usloviyakh Respubliki Komi [Regimes and parameters of technology of silage processing with carbon dioxide in the Komi Republic]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East, 2016, no. 4(53), pp. 75-80. (in Russian).
7. Zvereva G. K., Bogolyubova E. V. Ispol'zovanie ezhi sbornoi pri uluchshenii estestvennykh degradirovannykh pastbishch lesostepi [Using *Dactylis glomerata* L. to improve the natural degraded pastures of the forest-steppe]. Kormoproizvodstvo = Fodder Production, 2000, no. 4, pp. 15-16. (in Russian).
8. Tulinov A. G., Kosolapova T. V. Sravnitel'naya otsenka otechestvennykh i zarubezhnykh obraztsov ezhi sbornoi v usloviyakh severnogo regiona [Comparative assessment of national and foreign samples of cocksfoot grass in the Northern region]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University), 2019, no. 3(52), pp. 67-73. doi: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-67-73. (in Russian).
9. Urazova L. D., Lozhkina O. V. Seleksiya ezhi sbornoi v usloviyakh taezhnoi zony Tomskoi oblasti [Selection of the *Dactylis glomerata* L. in the taiga zone of the Tomsk region]. Nauchnaya zhizn' = Scientific Life, 2012, no. 3, pp. 18-24. (in Russian).
10. Urazova L. D., Litvinchuk O. V. Zimostoikost' ezhi sbornoi v ekstremal'nykh usloviyakh taezhnoi zony [Winter hardiness of the cocksfoot in the extreme conditions of the taiga zone]. Nauchnaya zhizn' = Scientific Life, 2018, no. 10, pp. 64-76. (in Russian).
11. Tulinov A. G., Kosolapova T. V. Produktivnost' obraztsov ezhi sbornoi (*Dactylis glomerata* L.) v usloviyakh Severa [Productivity of cocksfoot samples (*Dactylis glomerata* L.) in the North]. Kormoproizvodstvo = Fodder Production, 2018, no. 11, pp. 38-41. (in Russian).
12. Demina M. I., Solov'ev A. V. Urozhainost' ovsyantsy trostnikovoi i ezhi sbornoi na uvlazhnennykh mestakh pri raznom urovne azotnogo pitaniya [The yield of tall fescue and cocksfoot in moist places at different levels of nitrogen nutrition]. Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia, 2012, no. 3, pp. 2-4. doi: 10.30906/1999-5636-2012-3-2-4. (in Russian).
13. Lazarev N. N., Kostikova T. V., Belenkov A. I. Vliyaniye azotnykh udobrenii na urozhainost' pastbishchnykh travosmesei na osnove raigrasa pastbishchnogo, ezhi sbornoi i klevera polzuchego [Effect of nitrogen fertilizers on productivity of pasture grass mixtures composed of perennial ryegrass, cocksfoot, and white clover]. Plodorodie = «Plodorodie», 2016, no. 3(90), pp. 24-27. (in Russian).
14. Wiśniewska-Kadżaján B., Malinowska E., Misiak M. Concentrations of K, Mg and Na and their ionic relations in *Dactylis glomerata* L. Biomass grown in soil with mushroom substrate and mineral fertilizers. Applied Ecology and Environmental Research, 2017, no. 15(3), pp. 1269-1278. doi: 10.15666/aeer/1503\_12691278.
15. Tilvikienė V., Šlepetienė A., Kadžiulienė Ž. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). Grass and Forage Science, 2018, no. 73(1), pp. 206-217. doi: 10.1111/gfs.12306.
16. Kostenko S. I., Kuleshov G. F., Klochkova V. S., Kostenko N. Yu. Ezha sbornaya (*Dactylis glomerata* L.) [Cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.)]. Osnovnye vidy i sorta kormovykh kul'tur [The main types and varieties of feed crops]. Moscow, 2015, pp. 187-190. (in Russian).
17. Zaripova L. P., Gibadullina F. S., Shakirov Sh. K., Tagirov M. Sh., Nurtdinov M. G., Khazipov N. N., Bykova M. Yu., Gabdrakhmanov I. Kh., Shurkhno R. A., Lukmanov A. A. Korma Respubliki Tatarstan: sostav, pitatel'nost' i ispol'zovanie: Spravochnik [Feed of the Republic of Tatarstan: composition, nutrition and use: Reference]. Kazan, Foliant, 2010, 272 p. (in Russian).
18. Kosolapov V. M., Trofimov I. A. Spravochnik po kormoproizvodstvu [Directory of feed production]. Moscow, Rossel'khozakademiya, 2014, 717 p. (in Russian).
19. Shmorgunov G. T., Kokovkina S. V., Tsvetkova Z. K., Oblizov A. V., Yudin A. A., Chebotarev N. T., Bulatova N. V., Belyaeva R. A., Triandafilov A. F., Blokh E. A., Makarovskii P. A., Shekhonin Yu. M., Khomchenko A. A., Kolegov N. V., Ermolina V. I., Kosolapova T. V., Karakchieva E. F., Tulinov A. G., Konkin P. I., Pelevina N. I., Shestopalova N. S., Babela A. V., Semenchin S. I., Romanov G. G., Ortyakova T. V., Lobanov A. Yu., Regorchuk N. V., Shershunova O. N., Popov D. A. Sistema zemledeliya Respubliki Komi [The farming system of the Komi Republic]. Syktyvkar, GOU VO KRAGSiU, 2017, 225 p. (in Russian).
20. Triandafilov A. F., Lobanov A. Y., Tulinov A. G., Shlyk M. Y. Using carbon dioxide for fodder conservation. Journal of Pharmaceutical and Research, 2017, no. 9(5), pp. 728-731.
21. Bretshneider S. Svoistva gazov i zhidkosti [Properties of gases and liquids]. Moscow, Khimiya, 1966, 536 p. (in Russian).
22. Mel'nikov S. V., Aleshkin V. R., Roshchin P. M. Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaistvennykh protsessov [Planning an experiment in research of agricultural processes]. Leningrad, Kolos, 1980, 168 p. (in Russian).
23. Moskalenko S. P. Teoreticheskoe i prakticheskoe obosnovaniye ispol'zovaniya senazha v myagkoi upakovke v ratsionakh krupnogo rogatogo skota. Dis. dokt. sel'khoz. nauk [Theoretical and practical rationale for the use of haylage in soft packaging in cattle diets. Dr. agric. sci. diss.]. Saransk, 2006. 323 p. (in Russian).
24. Tulinov A. G., Kosolapova T. V., Mikhailova E. A. Rezul'taty otsenki kollektsionnykh obraztsov *Dactylis glomerata* L. v usloviyakh Respubliki Komi [Results of the evaluation of collection samples of *Dactylis glomerata* L. under conditions of the Komi Republic]. Zemledelie = «Zemledeliye», 2019, no. 3, pp. 41-43. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10311. (in Russian).
25. Taranov N. G. Khimicheskoe konservirovaniye kormov [Chemical conservation of feed]. Moscow, Kolos, 143 p. (in Russian).

### Информация об авторах

*Тулинов Алексей Геннадьевич* – кандидат с.-х. наук, научный сотрудник отдела сельскохозяйственной геномики, Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ул. Ручейная, д. 27, 167023 Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация). E-mail: toolalgen@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

*Лобанов Александр Юрьевич* – младший научный сотрудник отдела сельскохозяйственной геномики, Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ул. Ручейная, д. 27, 167023 Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0003-1653-2987>

### Information about the authors

*Aleksei G. Tulinov* - Ph.D. (Agricultural). Institute of Agrobiotechnology Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (27 Rucheyaya Str., Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation). E-mail: toolalgen@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

*Aleksander Yu. Lobanov* - Institute of Agrobiotechnology Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (27, Rucheyaya Str., Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0003-1653-2987>

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

UDC 636.1.082.12(477)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-215-219>

Received 07.10.2020

Поступила в редакцию 07.10.2020

**Lubov F. Starodub**

*Institute of Animal Breeding and Genetics ND A. MV Zubets NAAS Chubinskoe, Boryspil district, Kiev region, Ukraine*

## **PECULIARITIES OF KARYOTYPE OF THE UKRAINIAN ABORIGINAL HUTSUL BREED OF HORSE**

**Abstract:** Saving biodiversity and assessment of the genetic diversity of local breeds of domestic animals as priority subjects of protection in agrobiocenoses is one of the global challenges facing humanity in the 21st century. Hutsul horse is one of the oldest horse breeds in Ukraine, which according to the gene pool subject of horses in Ukraine belongs to the group “Local (mountain and ponies)” of the I category, which is already on the verge of extinction, and according to the FAO classification it is considered to be a subject of the gene pool threatened with extinction. Since the breeding chromosomal polymorphism of horses is insufficiently studied, it is timely to carry out a cytogenetic analysis of the characteristics of spontaneous mutagenesis in Hutsul horses. Karyotypic variability of Hutsul breed horses was determined using the methods of cytogenetic analysis and micronucleus test. The paper presents the results of cytogenetic analysis and micronucleus test of karyotypic variability of Hutsul breed horses. Asynchronous divergence of centromere regions of chromosomes occurs as a result of premature replication of centromere regions of heterochromatin associated with centromere activity. In the studied Hutsul horses, the magnitude of this variability corresponds to the spontaneous level for horses as a whole (2.2-9.1 %). No structural chromosomal abnormalities (chromosomal breaks) were revealed in Hutsul breed horses at Krai Neba LLC, and in the animals of the Hutsulshchina National Nature Park, the percentage of metaphase plates with chromosomal breaks was low (1.1 %), which indicates the stability of the karyotype of the studied animals. The results of the micronucleus test showed that the proportion of lymphocytes with micronuclei in the animals at the both farms was practically the same - 4.0-4.2. It can be concluded based on the data obtained that the animals under study were in ecologically clean conditions relative to the level of radionuclide contamination and were characterized by karyotype stability and reduced sensitivity to mutagenic factors of various nature.

**Keywords:** horses, Hutsul breed, aneuploidy, polyploidy, genomic abnormalities, karyotype stability, lymphocytes, chromosomes, chromosomal breaks, mitotic index

**For citation:** Starodub L. F. Peculiarities of karyotype of the Ukrainian aboriginal Hutsul breed of horse. *Vesti Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 215-219. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-215-219>

**Л. Ф. Стародуб**

*Институт разведения и генетики животных имени М. В. Зубца НААН,  
с. Чубинское, Бориспольский р-н, Киевская область, Украина*

## **ОСОБЕННОСТИ КАРИОТИПА УКРАИНСКОЙ АБОРИГЕННОЙ ГУЦУЛЬСКОЙ ПОРОДЫ ЛОШАДЕЙ**

**Аннотация:** Сохранение биоразнообразия и оценка генетического разнообразия местных пород домашних животных как приоритетных объектов защиты в агробиоценозах – одна из глобальных задач, стоящих перед человечеством в XXI веке. Гуцульская лошадь – одна из древнейших пород лошадей в Украине, которая по объекту генофонда лошадей Украины относится к группе «Местные (горные и пони)» I категории, которая уже находится на грани исчезновения, а по классификации ФАО является объектом генофонда, находящихся под угрозой исчезновения. Поскольку породный хромосомный полиморфизм лошадей недостаточно изучен, проведение цитогенетического анализа особенностей спонтанного мутагенеза гуцульских лошадей является своевременным. Карิโอтипическую изменчивость лошадей гуцульской породы определяли с использованием методов цитогенетического анализа и микроядерного теста. В статье представлены результаты цитогенетического анализа и микроядерного теста кариотипической изменчивости лошадей гуцульской породы. Асинхронная дивергенция центромерных областей хромосом происходит в результате преждевременной репликации центромерных областей гетерохроматина, связанной с активностью центромер. У исследованных гуцульских лошадей величина этой изменчивости соответствует спонтанному уровню для лошадей в целом (2,2–9,1 %). Структурных хромосомных аномалий (хромосомных разрывов) у лошадей ООО «Край Неба» не выявлено, а у животных Национального природного парка «Гуцульщина» процент метафазных пластинок с хромосомными разрывами был низким (1,1 %), что свидетельствует о стабильности кариотипа исследуемых животных. Результаты микроядерного теста показали, что доля лимфоцитов с микроядром

у животных двух хозяйств была практически одинаковой – 4,0–4,2. Из полученных данных можно сделать вывод, что исследуемые животные находились в экологически чистых условиях относительно уровня радионуклидного загрязнения и характеризовались стабильностью кариотипа и пониженной чувствительностью к мутагенным факторам различной природы.

**Ключевые слова:** лошади, гуцульская порода, анеуплоидия, полиплоидия, геномные нарушения, стабильность кариотипа, лимфоциты, хромосомы, хромосомные разрывы, митотический индекс

**Для цитирования:** Стародуб, Л. Ф. Особенности кариотипа украинской аборигенной гуцульской породы лошадей / Л. Ф. Стародуб // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 215–219. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-215-219>

**Introduction.** To solve one of the global problems facing humanity in the XXI century - biodiversity conservation of our planet, knowledge about the structure of the gene pool and assessment of genetic diversity of local breeds of domestic animals as priority objects of protection in agrobiocenoses [1]. One of the oldest horse breeds in Ukraine is Hutsul horses. [2], which by the name of the gene pool object of horses in Ukraine belong to the group “Local (mountain and pony)” of the I-th category (gene pool object, which is already on the verge of extinction) of domestic classification and TR-cross-border regional (FAO classification) of gene pool objects by threats to existence and approaches to storage [1, 3]. One of the principles of determining the quality of Hutsul horses is genetic monitoring.

Spontaneous cytogenetic variability of horses in comparison with other species of farm animals is much less studied. In horse breeding, cytogenetic studies are mainly performed in animals in which infertility or other abnormalities are observed [4]. So far, the breed-specific chromosomal polymorphism of horses remains insufficiently studied. Therefore, the study of cytogenetic features of spontaneous mutagenesis of Hutsul horses is quite relevant today. The aim of our work was to conduct cytogenetic control of Hutsul horses to determine genetic specificity at the chromosomal level.

**Materials and methods.** Cytogenetic control was carried out in horses of Hutsul breed of the National Natural Park “Hutsulshchyna” (20 heads) in Kosiv and farms of LLC “Krai neba” (20 heads) in Kolomyia district. Lisna Slobidka, Ivano-Frankivsk region. Most of the studied animals are listed in the State Book of Hutsul Breeding Horses (Volume II) [2].

Cytogenetic drugs were prepared from peripheral blood lymphocytes taken from the jugular vein of the animal. Sterile vials were prepared in the laboratory for culturing blood cells; packed RPMI-1640 medium (Sigma, USA) in a sterile box of approximately 5 ml in one vial with 15-20 % - serum of cattle (preferably embryonic). Antibiotics were added to the culture at the rate of 0.001 ml of gentamicin per 1 ml of medium, 0.5 ml of whole blood, as well as mitogen - a substance that stimulates mitotic division of lymphocytes in culture. Dosage of phytohemagglutinin type P was added at a dose of 0.02 ml, type M - 0.2 ml per 10 ml of culture mixture. The mixture was cultured in a thermostat at a temperature of + 37 °C for 48-72 hours, periodically shaking the vials. Two hours before fixation, a solution of colchicine heated to 37 °C at a final concentration of 0.3-0.5 µg/ml of culture medium was introduced into the culture. For hypotension used freshly prepared 0.55 % solution of potassium chloride. Hypotension was performed for 20 min in a thermostat at a temperature of + 37 °C. After hypotension, the culture was centrifuged, the supernatant was drained, and cooled to + 4 °C fixing liquid was added to the precipitate carefully along the wall of the tube, mixing one part of glacial acetic acid with three parts of methyl (or ethyl) alcohol. After that, the precipitate was resuspended and centrifuged, repeating this operation 2-3 times. The cell suspension was applied to clean cooled slides from a height of 20-30 cm with an automatic dispenser. The glass was dried in air. The obtained preparations, after staining with the finished Giemsa dye, were analyzed for chromosomal variability under immersion magnification of the Axiostar plus microscope (Carl Zeiss, Germany) in 1000 times and microphotographed [5] (Fig. 1).

In the process of research took into account: quantitative chromosome disorders - aneuploidy (A), polyploidy (PP), cells with asynchrony of splitting of the centromeric regions of chromosomes (ARCR), structural aberrations - chromosome breaks (HR). The number of dinuclear lymphocytes (DJ) and mononuclear lymphocytes with micronuclei (MJ) and mitotic index (MI) were counted on the same drugs. The frequency of DY, MY, MI was calculated in ppm (‰), the number per 1000 cells.

**Research results.** The results of cytogenetic analysis of the studied horses of Hutsul breed showed that they are characterized by genomic and structural disorders of chromosomes (Table 1).



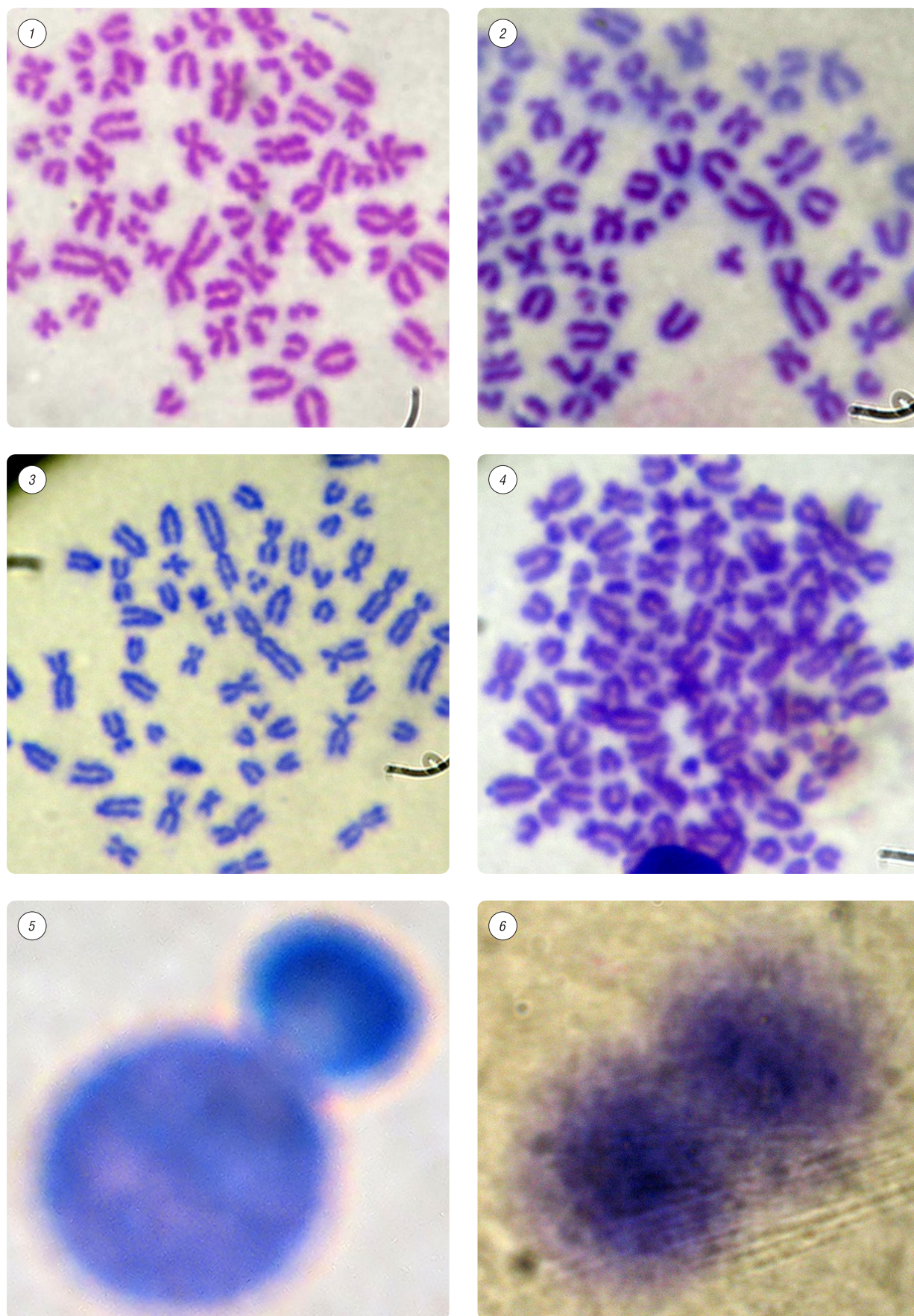


Fig.1. Features of Hutsul horse karyotype: 1 - Karyotype norm  $2n = 64$ ; 2 - Asynchronous divergence of centromeric regions of chromosomes; 3 - Aneuploidy  $2n = 58$ ; 4 - Polyploidy  $3n = 96$ ; 5 - Lymphocyte with micronucleus; 6 - Dinuclear lymphocyte

**Table 1. The results of the analysis of karyotypic variability of the Hutsul breed of horses in the National Nature Park “Hutsulshchyna” and LLC “Krai neba” Lisna Slobidka in Kolomyia district, %**

Farm	Aneuploidy	Polyploidy	ARCRC	Chromosomal gaps
National Hutsul Nature Park	11,1 ± 2,63	1,1 ± 1,04	6,0 ± 2,15	1,1 ± 1,04
LLC “Edge of the Sky”	8,8 ± 3,50	2,0 ± 1,81	2,0 ± 1,81	–
<i>M ± m</i>	10,8 ± 2,10	1,4 ± 0,93	3,9 ± 1,77	0,7 ± 0,59

Genomic chromosome abnormalities, aneuploidy, were expressed mainly by hypoploid cells ( $2n = 54-62$ ), the average of which was 10.8 %, the magnitude of the values of this variability was 8.8-11.1 % in animals of the farm LLC “Edge of Heaven” and Hutsulshchyna National Nature Park, respectively. However, the difference in the mean frequencies of aneuploid metaphases in the blood lymphocytes of horses of the two farms was statistically insignificant. According to this variability, individual polymorphism was observed in the studied animals. The correlation between age and aneuploidy in the studied Hutsul horses was weak and unreliable. The number of polyploid cells in horses of the two farms was in the range of 1.1-2.0 %, the average value of which was 1.4 % and did not exceed the species of this variability [4].

It was found that asynchronous divergence of centromeric regions of chromosomes occurs as a result of premature replication of centromeric heterochromatin regions associated with centromere activity [6]. In the Hutsul horses studied, the magnitude of this variability was 2.0-6.0 %, with an average value of 3.9 %, which corresponds to the spontaneous level for horses in general (2.2-9.1 %) [7].

Structural chromosome abnormalities (chromosomal breaks) in horses of Krai Neba LLC were not detected, and in animals of Hutsulshchyna National Nature Park the percentage of metaphase plates with chromosomal breaks was low and was 1.1 % (limit of chromosomal breaks in horses at spontaneous mutagenesis is 1.6-4.7 % [7, 8], which indicates the stability of the karyotype of the studied animals.

The results of the micronucleus test (Table 2) showed that the proportion of lymphocytes with a micronucleus for animals of the two farms was almost the same. The magnitude of this variability was 4.0-4.2 %.

**Table 2. The results of the micronucleus test of the Hutsul horse breed of the National Nature Park “Hutsulshchyna” and LLC “Krai neba” Lisna Slobidka, Kolomyia district, %**

Farm	Lymphocyte with micronucleus	Dinuclear lymphocyte	Mitotic index
Hutsul National Nature Park	4,2 ± 0,76	6,7 ± 1,01	4,7 ± 0,70
Edge of the Sky LLC	4,0 ± 1,15	3,8 ± 0,79	2,8 ± 0,59
<i>M ± m</i>	4,1 ± 1,40	6,2 ± 0,94	4,3 ± 0,72

To establish a connection between aneuploidy and lymphocytes with the micronucleus, a correlation analysis was performed. A direct relationship was found between cells with aneuploidy and lymphocytes with a micronucleus ( $r = 0.9198$ ) with a significant probability of  $P > 0.95$ .

The number of dinuclear lymphocytes (6.2 %) exceeded the mitotic index (4.3 %). However, the difference in mean values between the frequency of dinuclear lymphocytes and the level of cell division - mitotic index, was insignificant. Studies in other animal species have shown that with increasing contamination, in particular radionuclides, increases the range of individual variability in MI, the frequency of lymphocytes with a micronucleus and decreases the number of dinuclear lymphocytes [8-10].

Therefore, from the obtained data it can be concluded that the studied animals were in environmentally friendly conditions relative to the level of radionuclide contamination and were characterized by karyotype stability and reduced sensitivity to mutagenic factors of different nature.

**Conclusions.** According to the results of cytogenetic analysis, the presence of genomic and structural disorders of chromosomes in the studied horses of Hutsul breed was established. It was found that genomic chromosome disorders are represented by aneuploidy, the average value of which was 10.8 %, polyploid cells with an average frequency of 1.4 %, not exceeding the species of this variability.



ity. The extent of asynchronous divergence of the centromeric regions of chromosomes (2.0-6.0 %) with an average value of 3.9 %, which corresponds to the spontaneous level for horses as a whole. The absence of chromosomal breaks in the animals of Krai Neba LLC and 1.1 % of metaphase plates with chromosomal breaks in horses of the Hutsulshchyna National Nature Park was revealed, which testifies to the stability of the karyotype of the studied animals. The proportion of lymphocytes with a micronucleus for animals of two farms was determined - 4.0-4.2 ‰. A direct relationship was found between cells with aneuploidy and lymphocytes with a micronucleus ( $r = 0.9198$ ) with a significant probability of  $P > 0.95$ . It was found that the number of dinuclear lymphocytes (6.2 ‰) exceeded the mitotic index (4.3 ‰) with an insignificant difference in mean values, which indicates the stability of the karyotype of the studied animals.

### References

1. Boettcher P., Martin J. F., Gandini G., Joshi B. K., Oldenbroek J. K., Sponenberg P. *Draft guidelines on in vivo conservation of animal genetic resources: CGFRA/WG-AnGR-7/12/Inf.6*. Rome, FAO, 2012. 160 p.
2. Golovach M. I., Golovach M. M. *State book of Hutsul breeding horses. Vol. 2*. Uzhgorod, Karpati Publ., 2013. 256 p. (in Ukrainian).
3. Gladii M. V., Polupan Yu. P., Basovs'kii D. M., Vishnevs'kii, L. V., Kovtun S. I. *Program for conservation of the gene pool of local and endangered breeds of farm animals in Ukraine for 2017-2025*. Sumy, Sumy National Agrarian University, 2018. 84 p. (in Ukrainian).
4. Ernst L. K., Zhigachev A. I. *Monitoring of genetic diseases of animals in the system of large-scale selection*. Moscow, 2006. 382 p. (in Russian).
5. Burkat V. P. (ed.). *Research methods in breeding, genetics and biotechnology in animal husbandry*. Kyiv, Agrarna nauka Publ., 2005. 244 p. (in Ukrainian).
6. Kovaleva O. A. Cytogenetic abnormalities in mammalian somatic cells. *Tsitologiya i genetika = Cytology and Genetics*, 2008, vol. 42, no. 1, pp. 58-72 (in Russian).
7. Dzitsyuk V. V. *Chromosomal polymorphism of individual species and breeds of farm animals*. Ph.D. Thesis. Chubynske, 2009. 313 p. (in Ukrainian).
8. Dzhus P., Starodub L., Kurilenko Yu., Kostenko S. The somatic mutagenize polymorphism of horses breeds. *Agrarni nauki = Agricultural Sciences*, 2013, vol. 5, iss. 14, pp. 31-35 (in Russian).
9. Dzerzhins'kii M. E., Skripnik N. V., Garmatina S. M. (et al.). *General cytology and histology. Part I. General cytology*. Kyiv, Kiivs'kii universitet Publ., 2006. 275 p. (in Ukrainian).
10. D'omina E. A., Barilyak I. R., Pilins'ka M. A. Glossary on radiation cytogenetics. *Visnik Ukraïns'kogo tovaristva genetikiv i selektsioneriv = The Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*, 2009, vol. 7, no. 1, pp. 125-163 (in Ukrainian).

### Информация об авторе

Стародуб Любовь Феофиловна – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Институт разведения и генетики животных имени М.В. Зубца НААН (ул. Погребняка, 1, 08321 с. Чубинское, Бориспольский р-н, Киевская область, Украина). E-mail: starodublf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9565-807X>

### Information about author

Starodub Lybov F. - Ph.D. (Agricultural). Institute of Animal Breeding and Genetics ND A. MV Zubets NAAS (1, Pogrebnyaka, Chubinskoe 08321, Boryspil district, Kiev region, Ukraine). E-mail: starodublf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9565-807X>

М. П. Синяков

*Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины,  
Витебск, Беларусь***АССОЦИАТИВНЫЕ ПАЗАРИТОЗЫ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ЛОШАДЕЙ  
И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОПАРАЗИТАРНЫХ ПРЕПАРАТОВ**

**Аннотация:** Инвазионные болезни лошадей являются актуальной проблемой в коневодческой отрасли Республики Беларусь, а также стран ближнего и дальнего зарубежья. Основную роль среди паразитарной патологии занимают гельминты тонкого и толстого отделов кишечника, а также личинки гастерофилюсов. При ассоциативном течении они являются причиной значительных экономических потерь, связанных с ростом и развитием переболевшего молодняка, снижением работоспособности, выносливости животных, повышением восприимчивости к другим болезням и даже гибели животных. Проведение плановых лечебно-профилактических мероприятий с применением антигельминтиков широкого спектра действия является приоритетной мерой снижения экономического ущерба в развитии отрасли коневодства. В статье приводятся сведения по распространению паразитозов желудочно-кишечного тракта лошадей на территории Республики Беларусь в период 2004–2020 гг. Представлен видовой состав паразитов лошадей, локализуемых в желудке, тонком и толстом кишечнике. Изучены данные по экстенсивности и интенсивности инвазий лошадей паразитоценозами пищеварительного тракта в возрастном аспекте. Исследована терапевтическая эффективность противопаразитарных препаратов различных фармакологических групп при моно- и полиинвазиях желудочно-кишечного тракта лошадей. Показана высокая экстенсивность препаратов авермектинового ряда (авермектиновая паста 1 %, ривертин 1 %, универм) при нематодозах желудочно-кишечного тракта лошадей и гастерофилезе. Установлена высокая эффективность от применения нового комплексного противопаразитарного препарата для лошадей «Празимакс» при моно- и полиинвазиях, вызванных паразитами желудочно-кишечного тракта, среди которых нематоды тонкого и толстого кишечника, личинки гастерофилюсов и цестоды вида *Anoplocephala perfoliata*. Данные о распространении ассоциативного течения паразитоценозов пищеварительного тракта лошадей, возрастной и сезонной динамики позволят ветеринарным специалистам своевременно поставить диагноз, провести дифференциальную диагностику, определить оптимальные сроки диагностических, лечебных и профилактических обработок с учетом специфики паразитоценоза. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках п. 2 Государственной программы «Приоритетные направления научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы», в рамках темы кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ «Изучение паразитарных систем и разработка новых средств лечения и профилактики инвазионных болезней животных» на 2016–2020 годы.

**Ключевые слова:** коневодство, лошади, паразитоценозы пищеварительного тракта, кишечные стронгилятозы, гастерофилез, параскариоз, оксидоз, аноплосцефалидоз, диагностическая обработка, противопаразитарные препараты, антигельминтики, препарат «Празимакс»

**Для цитирования:** Синяков, М. П. Ассоциативные паразитозы желудочно-кишечного тракта лошадей и оценка эффективности противопаразитарных препаратов / М. П. Синяков // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. на-вук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 220–231. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-220-231>

Maksim P. Sinyakov

*Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Republic of Belarus***ASSOCIATIVE PARASITOSSES OF THE GASTROINTESTINAL TRACT OF HORSES AND ASSESSMENT  
OF ANTI-PARASITIC DRUGS EFFICIENCY**

**Abstract:** Invasive diseases of horses are an urgent problem in the horse breeding industry of the Republic of Belarus, as well as in the near and far abroad countries. The main role among the parasitic pathology is occupied by helminths of the small and large intestine, as well as larvae of gasterophilus. In associative course, they are the cause of significant economic losses associated with the growth and development of sick young animals, reduced performance, endurance of animals, increased susceptibility to other diseases, and even the death of animals. Planned therapeutic and preventive measures using broad-spectrum anthelmintics is a priority measure to reduce economic damage in development of the horse breeding industry. The paper provides data on spread of parasitoses of gastrointestinal tract in horses in the Republic of Belarus during period of 2004–2020. The paper presents the species composition of horse parasites localized in the stomach, small and large intestines. Data on extensiveness and intensity of invasions of horses by parasitocenosis of digestive tract in terms of age are presented. Therapeutic effi-



ciency of antiparasitic drugs of various pharmacological groups in mono- and polyinfestations of gastrointestinal tract of horses are studied. High extensibility of Avermectin series preparations (Avermectin paste 1 %, Rivertin 1 %) has been determined for nematodes of gastrointestinal tract of horses and gastrointestinal disease. High efficiency has been obtained from a new complex antiparasitic preparation for horses “Prazimax” in mono- and polyinfestations caused by parasites of gastrointestinal tract, including nematodes of the small and large intestines, larvae of gasterophilus and *Anoplocephala perfoliata* cestodes. Data on spread of associative course of parasitocenoses of the digestive tract of horses, age and seasonal dynamics will allow veterinary specialists to make timely diagnosis, conduct differential diagnostics, determine the optimal timing of diagnostic, therapeutic and preventive treatments, taking into account the specifics of parasitocenosis. **Acknowledgments.** The research was carried out as part of the state program p. 2 “Priority areas of scientific and technical activities in the Republic of Belarus” for 2016–2020, within the framework of the subject of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of ARSAVM “Study of parasitic systems and development of new means of treatment and prevention of invasive animal diseases” for 2016–2020.

**Keywords:** horse breeding, horses, parasitocenosis of digestive tract, intestinal strongylatosis, gastrophilia, parascariosis, oxyurosis, anoplocephalidosis, diagnostic treatment, antiparasitic preparations, anthelmintics, “Prazimax” preparation

**For citation:** Sinyakov M. P. Associative parasitoses of the gastrointestinal tract of horses and assessment of anti-parasitic drugs efficiency. *Vesti Natsyonal'nyy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnyykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 220–231 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-220-231>

**Введение.** Паразитарные болезни лошадей являются актуальной проблемой в коневодческой отрасли Республики Беларусь, а также стран ближнего и дальнего зарубежья. Среди инвазионных болезней лошадей чаще всего регистрируются гельминтозы желудочно-кишечного тракта [1–9].

Известно, что на фоне кишечных гельминтозов снижается работоспособность и выносливость животных, замедляется рост и развитие жеребят, а также повышается восприимчивость к развитию болезней заразной и незаразной патологии [10–12]. Таким образом, глистная инвазия неблагоприятно сказывается на эффективности ведения отрасли коневодства.

По данным сотрудников кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных Витебской государственной академии ветеринарной медицины, установлено, что в ряде хозяйств экстенсивность инвазии кишечными паразитами достигает 100 %, при этом доминирующими компонентами паразитоценоза являются кишечные стронгилятозы, гастрофилез, параскариоз, оксиуроз и аноплоцефалидоз [13–20].

Окончательная постановка диагноза основана на комплексном подходе, где учитывается возраст животных, особенности условий содержания и эксплуатации, клинические признаки, результаты исследования биологического материала и т.д. При большинстве кишечных гельминтозов отсутствуют характерные признаки болезни. Прижизненная постановка диагноза при основной массе кишечных гельминтозов базируется на результатах копроскопических исследований, где по морфометрическим характеристикам выделенных яиц паразитов определяется инвазионное начало болезни. Однако это возможно в том случае, если гельминты достигли половозрелой стадии. В случае преимагинальной стадии развития гельминта требуется проведение диагностической дегельминтизации с последующей визуализацией паразитов в фекалиях либо применение дополнительно специальных методов диагностики. Важно отметить, что для каждого вида гельминта характерны свои таксономические признаки как в строении ювенильных и имагинальных стадий, так и яиц возбудителей.

В настоящее время для проведения лечебно-профилактических обработок лошадей при ассоциативном течении кишечных гельминтозов и гастерофилезе применяется широкий ассортимент как монокомпонентных, так и поликомпонентных препаратов [21–25]. Однако препараты разных фармакологических групп имеют отличия как по экстенсивности, так и по персистенности противопаразитарного действия. Кроме того, применение противопаразитарных препаратов губительно действует на полезную микрофлору кишечного тракта, к тому же они оказывают кратковременное токсическое действие на организм животного и снижают иммунную резистентность. Таким образом, для снижения уровня экстенсивности и интенсивности инвазии желудочно-кишечными паразитами необходимо вести разработки комплексных противопаразитарных препаратов с длительным персистентным и иммуностимулирующим действием.

В специализированных коневодческих хозяйствах Беларуси проводятся плановые лечебно-профилактические мероприятия при паразитарных инвазиях лошадей, что свидетельствует о низкой экстенсивности и интенсивности инвазии отдельных таксономических групп паразитов в племенном и спортивном коневодстве, где практически не регистрируется оксиуроз

и гастротрофилез. При отсутствии и не соблюдении общехозяйственных и специальных мероприятий (антисанитарные условия содержания, неполноценное кормление, ежедневная уборка станков от фекалий с последующим биотермическим обеззараживанием, кормление с пола, дезинвация мест содержания лошадей и предметов ухода за ними, своевременная чистка животных, выпас на прифермской территории и т.д.) количественный состав паразитоценоза желудочно-кишечного тракта лошадей увеличивается.

Цель исследования – изучение ассоциативного течения паразитоценозов желудочно-кишечного тракта лошадей на территории Республики Беларусь, а также оценка терапевтической эффективности противопаразитарных препаратов.

**Объекты и методы исследований.** С целью изучения распространения кишечных паразитов были обследованы лошади разных животноводческих хозяйств Беларуси – СПК «Новая Дубрава-Агро» Лиозненского района, ОАО «Возрождение» Витебского района, РУСХП «э/б Тулово» Витебского района, ОАО «Молоко» г. Витебск филиал «Полудетки», КУСХП «Пестуница» Витебского района, КУСХП «Вымно» Витебского района, ЧУП «Чесс-Бел-Агро» Витебского района, СПК «Золотая подкова» Глубокского района, ГУСУ «Горецкая ДЮСШ» г. Горки, КСУП «Тепличное» Гомельский конный завод № 59, селекционно-гибридный центр РУСП «Вихра» Мстиславского района, конезавод им. Л. М. Доватора «Республиканский центр олимпийской подготовки конного спорта и коневодства Минского района», ОАО «Случская Нива» Слуцкого района, агрокомбинат «Мир» Барановичского района, частный сектор в 2001–2020 гг. Общее количество лошадей, обследованных копроовоскопическим методом, составляло около 3,5 тыс гол. Кроме того, на ОАО «Витебский мясокомбинат» при проведении посмертной диагностики было отобрано и изучено содержимое желудочно-кишечного тракта от 145 лошадей. Для проведения диагностической дегельминтизации было обработано 72 лошади разновозрастных групп препаратами авермектинового ряда и бензимидазольной группы с последующим сбором выделенных с фекалиями гельминтов в течение первых 3 сут после обработки и фиксацией в жидкости Барбагалло. При идентификации видового состава всех выделенных паразитов руководствовались определителями Г. М. Двойноса<sup>1</sup>.

Фекалии исследовали стандартизированным методом по И. А. Щербовичу, где в качестве флотационной жидкости применяли насыщенный раствор тиосульфата натрия с плотностью 1,4 г/см<sup>3</sup>. Для определения интенсивности инвазии (ИИ) подсчет количества яиц гельминтов проводили в 20 полях зрения микроскопа. За основу обозначения ИИ закладывали среднее арифметическое значение количества выявленных яиц паразитов: при выявлении от 1 до 10 яиц – ИИ «единичные», от 11–30 – ИИ «низкая», 31–60 – ИИ «средняя», 61–90 – ИИ «высокая», 91 яйцо и выше – ИИ «очень высокая». Для прижизненной диагностики оксидозной инвазии проводили отбор мазков с перианальных складок ватно-марлевым тампоном, смоченным 50%-ным водным раствором глицерина, с последующим исследованием биологического материала методом нативного мазка.

Сравнительную оценку антигельминтной эффективности проводили при обработке лошадей универсом, ривертином 1 %, авермектиновой пастой 1 %, ивермектином 1 %, дектомаксом, альбендазолом 20 %, фенбендазолом 20 %, пастой алезан и новым ветеринарным препаратом «Празимакс».

Ветеринарный препарат «Празимакс», разработанный сотрудниками кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных, фармакологии и токсикологии Витебской государственной академии ветеринарной медицины и ООО «Белкарولين», представляет собой густую, слегка расслаивающуюся суспензию от бледно-серого до бледно-кремового цвета. В 1 см<sup>3</sup> препарата содержатся два активно действующих вещества – 140 мг празиквантела, 20 мг ивермектина, а также вспомогательные вещества, среди которых арабиногалактан, обладающий иммуностимулирующим действием. Входящий в состав препарата празиквантел относится к соединению группы пиразиноизохинолина, механизм действия которого заключается в повышении проницаемости клеточных мембран трематод и цестод для ионов кальция, что вызывает генерализованное сокращение мускулатуры, переходящее в стойкий паралич, ведущий к гибели гельминтов. Основными мишенями активно действующего вещества ивермектина являются глутамат-чувствительные

<sup>1</sup> Двойнос Г. М., Харченко В. А. Стронгилиды домашних и диких лошадей. Киев : Наук. думка, 1994. 233 с.; Ивашкин В. М., Двойнос Г. М. Определитель гельминтов лошадей. Киев : Наук. думка, 1984. С. 62–154.

хлорные каналы, а также рецепторы гамма-аминомасляной кислоты. Под действием ивермектина происходит изменение тока ионов хлора и, как следствие, нарушение проведения нервных импульсов, что приводит к параличу и гибели паразита. Вспомогательный компонент препарата арабиногалактан является природным полисахаридом, который обладает многогранной биологической активностью, имеет пребиотические и иммуностимулирующие свойства. В настоящее время разработаны технические условия<sup>2</sup> и инструкция по применению ветеринарного препарата «Празимакс»<sup>3</sup>, также получен патент<sup>4</sup>.

Производственные испытания нового отечественного ветеринарного препарата «Празимакс» проводили на группах лошадей, спонтанно инвазированных моно- и полиинвазиями. Антигельминтную эффективность препарата определяли на трех опытных группах с моноинвазиями, среди которых параскариозная инвазия (4 гол.), оксиурозная инвазия (9 гол.) и инвазия, вызванная кишечными стронгилятами (18 гол.). Для изучения антигельминтной эффективности препарата ветеринарного «Празимакс» на лошадях с ассоциативным течением кишечных паразитозов были сформированы 5 групп:

- 1) I группа, спонтанно инвазированные стронгилятами кишечного тракта и параскариозом (13 гол.);
- 2) II группа, спонтанно инвазированные кишечными стронгилятами и оксиуридами (17 гол.);
- 3) III группа, спонтанно инвазированные кишечными стронгилятами, параскариозом и оксиуридами (7 гол.);
- 4) IV группа, спонтанно инвазированные кишечными стронгилятами, оксиуридами и аноплотцефалями (6 гол.);
- 5) V группа, спонтанно инвазированные кишечными стронгилятами и аноплотцефалями (11 гол.).

Всего в опытных группах по изучению терапевтической эффективности ветеринарного препарата «Празимакс» было обработано 85 лошадей. Препарат задавали индивидуально однократно в дозе 1 мл/100 кг живой массы тела. Техника обработки препаратом ветеринарным «Празимакс» заключается в том, что суспензию задавали на корень языка при помощи дозатора, канюлю которого вводили в межзубное пространство ротовой полости, после чего на несколько секунд приподнимали голову животного.

Учет терапевтической эффективности препаратов проводили путем копроскопических исследований на 14, 20, 30, 60, 75-е сутки после обработки.

**Результаты и их обсуждение.** По результатам лабораторных копроовоскопических исследований установлено, что экстенсивность инвазии гельминтами кишечного тракта достигает 100 %, преимущественно со средней и высокой интенсивностью инвазии.

В желудочно-кишечном тракте лошадей Беларуси установлено паразитирование 32 видов гельминтов, среди которых основную массу паразитоза составляют нематоды (круглые черви). Большую видовую численность представляют стронгиляты кишечного тракта – 27 видов, относящихся к двум сем. *Strongylidae* и *Trichonematidae* (*Cyathostomatidae*), вызывая поражение толстого отдела кишечника, в котором происходят основные процессы по перевариванию корма, в том числе расщепление клетчатки до жирных кислот. Кроме того, у одной лошади количество экземпляров трихонематид и стронгилрид может составлять 400 тыс. и более.

Поражение толстого отдела кишечника нематодами из сем. *Strongylidae* и *Trichonematidae* (*Cyathostomatidae*) ведет к нарушению всасывания воды из его просвета, значительно увеличивая объем и интенсивность выделения фекалий, а вместе с ними слизи, вырабатываемой раздраженной гельминтами слизистой оболочкой толстой кишки (слепой и ободочной). Дальнейшее развитие воспалительных процессов приводит к секреторной диарее.

Пораженность лошадей до 100 % стронгилятами кишечного тракта регистрируется в возрасте до 3 лет и старше 15 лет. У лошадей этих же возрастных групп выявлено паразитирование наиболь-

<sup>2</sup> Препарат ветеринарный «Празимакс» : ТУ ВУ 300237386.035-2020. Введ. 06.02.2020.

<sup>3</sup> Инструкция по применению ветеринарного препарата «Празимакс» : одобр. Советом по ветеринар. препаратам, протокол № 108 от 13.05.2020 г. / М.П. Синяков, А.В. Соловьев, И.П. Захарченко, В.Е. Перлов.

<sup>4</sup> Комплексный противопаразитарный препарат для лошадей: пат. ВУ 23109 / М.П. Синяков, А.В. Соловьев. Оpubл. 30.08.2020; Способ лечения и профилактики кишечных гельминтозов и гастрофилеза лошадей: пат. ВУ 23321 / М.П. Синяков, А.В. Соловьев. Оpubл. 28.02.2021.



шего количества видов трихонематид – 21, и 6 видов стронгилид [15, 17, 19]. Из всего сообщества кишечных стронгилят доминирующими видами являются: из сем. *Trichonematidae* (*Cyathostomidae*) – *Cyathostomum tetracanthum*, *Cylicocyclus nassatus*, *Cylicostephanus longibursatus*, *Cylicostephanus goldi*, *Cyathostomum pateratum*, *Cylicocyclus insigne*, *Cylicostephanus minutus*, *Coronocyclus labiatus*, *Cylicostephanus calicatus*, *Cylicocyclus ultrajectinus* (рис. 1, а); из сем. *Strongylidae* – *Triodontophorus serratus*, *Triodontophorus brevicauda* (рис. 1, b). Отмечается выделение единичных экземпляров делафондий (*Delafondia vulgaris*) (рис. 2, а) и альфортий (*Alfortia edentatus*) (рис. 2, b).



Рис. 1. Доминирующие сообщества кишечных стронгилят: а – половозрелые особи триодонтофорусов (100 экз.); б – половозрелые особи циатостоматид (трихонематид) (500 экз.). Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАБМ, 2019 г.

Fig. 1. Dominant communities of intestinal strongylates: а - mature specimens of triodontophorus (100 pcs); б - mature specimens of cyathostomatids (trichonematids) (500 pcs). Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019



Рис. 2. Половозрелые стадии: а – *Delafondia vulgaris* (I – самцы, II – самки); б – *Alfortia edentatus*. Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАБМ, 2019 г.

Fig. 2. Mature stages: а - *Delafondia vulgaris* (I - males, II - females); б - *Alfortia edentatus*. Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019



Ежегодно регистрируется высокий процент поражения лошадей параскарисами, оксиурисами и анопцефалами до 2-летнего возраста, иногда старших возрастных групп, а жеребят до 2-месячного возраста – стронгилоидесами.

Установлено, что стронгилоидоз является самым ранним кишечным гельминтозом лошадей, вызываемой нематодой *Strongyloides westeri*. Присутствие в организме возбудителя болезни отмечается у жеребят с 2-недельного возраста. Болезнь вызывается очень мелкими, величиной до 6 мм паразитическими (партеногенетическими) самками. Личинки стронгилоидесов при миграции по малому кругу кровообращения вызывают морфологические и функциональные нарушения печени и легких и завершают развитие в тонком отделе кишечника, где локализуются, как правило, в подслизистом слое. У жеребят-сосунов 3-недельного возраста отмечается ассоциативное течение стронгилоидоза с трихонематидозами.

У жеребят-сосунов 4–6 мес в тонком отделе кишечника локализуются половозрелые стадии самых крупных нематод пищеварительного тракта лошадей – *Parascaris equorum* величиной до 30 см и более (рис. 3). Личинки параскарисов при миграции по малому кругу кровообращения



Рис. 3. Нематоды *Parascaris equorum*. Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ, 2019 г.

Fig. 3. *Parascaris equorum* nematodes Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019

вызывают механические повреждения клеток и тканей, снижают резистентность организма, тем самым повышая восприимчивость к заболеваниям инвазионной, инфекционной и незаразной этиологии. Основное поголовье лошадей до 3-летнего возраста переболевает параскариозом с наибольшей интенсивностью инвазии в первый год жизни. Интенсивность инвазии лошадей нематодой *Parascaris equorum* относительно низкая при максимуме у одного животного до 23 экз.

Отмечается массовое заражение лошадей оксиурозом в возрасте от 6 мес до 1 года. Нематоды *Oxyuris equi* являются раздельнополыми паразитами молочно-белого цвета и локализуются в просвете толстого отдела кишечника, преимущественно в ободочной кишке. В процессе развития оксиурисов образуются короткохвостые и длиннохвостые самки. Величина длиннохвостых самок может достигать до 15 см. В связи с особенностью биологии возбудителя у лошадей развивается патогномотичный (характерный) признак – «зачес» у корня хвоста (рис. 4).

Отмечена высокая экстенсивность оксиурозной инвазии с поражением до 60 % (иногда и более) поголовья лошадей при антисанитарных условиях содержания.



Рис. 4. Патогномотичный симптом при оксиурозе – «зачес» у корня хвоста. Филиал «Полудетки», ОАО «Молоко», Витебск, 2019 г.

Fig. 4. Pathognomonic symptom in oxyuriasis - "combing" at the tail root. "Poludetki" branch JSC "Moloko", Vitebsk, 2019



Рис. 5. Ювенильные и половозрелые самки *Oxyuris equi*. Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ, 2019 г.

Fig. 5. Juvenile and mature females of *Oxyuris equi*. Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019



Рис. 6. Гнездовая локализация цестод *Anoplocephala perfoliata* на слизистой оболочке толстого отдела кишечника

Fig. 6. Locular localization of *Anoplocephala perfoliata* cestodes on the mucous membrane of the large intestine

Источник: Doctors find over 700 tapeworms in brain of man who ate undercooked pork. Mode of assed: <https://www.lewdleaks.com/doctors-find-over-700-tapeworms-in-brain-of-man-who-ate-undercooked-pork/>  
Date of assed: 21.08.2020.

Максимальная интенсивность инвазии составляет 70–80 экз. у животного, вызванная разными стадиями развития оксиурисов – половозрелыми и неполовозрелыми (рис. 5).

По результатам обследования лошадей более чем у 60 % регистрируется аноплоцефалидоз. Установлено, что инвазию в Беларуси вызывает цестода одного вида – *Anoplocephala perfoliata*. Возбудитель *Anoplocephala perfoliata* является единственной цестодой из числа всех ленточных червей животных, паразитирующей в толстом отделе кишечника (слепой и ободочной) (рис. 6). Как показывают результаты исследований, к аноплоцефалидозу наиболее восприимчивы жеребята до 2-летнего возраста и старые истощенные животные. Интенсивность аноплоцефалидозной инвазии составляет от нескольких десятков до сотни экземпляров, при этом пик инвазии приходится на летне-осенний период.

В хозяйствах Республики Беларусь в последние годы регистрируются единичные случаи заражения лошадей трихоцефалезом [16–20]. Возбудителем трихоцефалезной инвазии является нематода *Trichocephalus suis*, локализуемая в толстом отделе кишечника у домашней свиньи и дикого кабана. Имеются сообщения о регистрации нематод *Trichocephalus suis* у лошадей в Краснодарском крае [3]. При изучении морфометрической характеристики выявленных яиц трихоцефал установлено, что их длина составляет 66 мкм, ширина – 38 мкм, боченкообразной формы с пробочками на полюсах, желто-коричневого цвета, внутри содержится зародышевая масса (рис. 7).

В 2008 г. на территории Республики Беларусь зарегистрирован первый случай эймериоза, вызванный простейшими *Eimeria leuckarti* [16–26].

При морфометрическом исследовании установлено, что ооцисты *Eimeria leuckarti* имеют схожие морфологические параметры в описании, рисунках, фотографиях, приведенных в зарубежных источниках. Ооцисты преимущественно овоидной или эллипсоидной формы, несколько сужаются в передней части, размером  $(63–85) \times (46–60)$  мкм. Стенка ооцист состоит из толстого наружного (шероховатого снаружи) и тонкого внутреннего (гладкого) слоев (соотношение толщины слоев 6:1). Хорошо выраженное микропиле находится на суженном полюсе ооцисты. Морфологически представляет собой участок тонкой внутренней оболочки и тонкий мостик, соединяющий прерывающуюся в этом месте наружную толстую оболочку. На противоположном от микропиле полюсе на внутренней поверхности скорлупы имеется характерная ямка в диаметре 5–6 мкм и глубиной 2–3 мкм. Ямка присутствует у всех выявленных ооцист, тем самым являясь регулярной структурой, имеющей значение видового таксономического признака. К микропиле



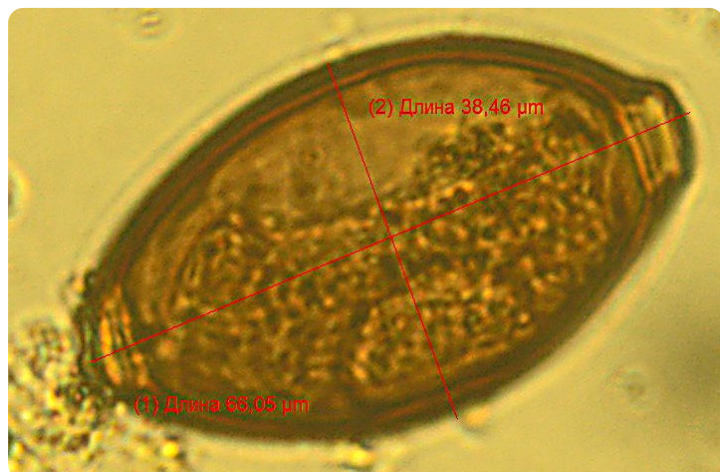


Рис. 7. Идентифицированное яйцо нематоды *Trichocephalus suis* при исследовании фекалий от лошадей. Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ, 2019 г.

Fig. 7. Identified egg of the nematode *Trichocephalus suis* during study of horses' feces. Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019



Рис. 8. Ооциста эймерий (*Eimeria leuckarti*). Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ, 2019 г.

Fig. 8. *Eimeria* oocyst (*Eimeria leuckarti*). Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019

с внутренней стороны прилегает округлое тело мелкозернистой структуры диаметром 3–5 мкм. Зародышевая масса (зигота) мелкозернистая, гомогенная, овальной формы, занимает почти все внутреннее пространство ооцисты, оставляя свободным незначительную его часть у полюсов. Цвет ооцист темно-коричневый (рис. 8). Морфометрические параметры ооцист соответствовали таковой описанной в литературе, за исключением описанного нами округлого тела, находящегося внутри ооцисты рядом с микропиле, которое в литературе не указано (М. В. Крылов, 1996).

Одним из доминирующих компонентов паразитоценоза пищеварительного тракта лошадей являются личинки желудочно-кишечных оводов – гастерофилюсы. Экстенсивность гастерофилюзной инвазии достигает 100 % при интенсивности инвазии у одной лошади до несколько сотен экземпляров [8, 9, 13, 14].

Личинки гастерофилюсов ( $L_2$ ,  $L_3$ ) величиной до 2,0–2,5 см, красно-бурого цвета, червеобразной формы и состоят из 13 сегментов. На переднем конце тела личинок имеется пара острых, изогнутых крючков. Локализуются гнездно в кардиальной и пилорической зонах желудка. По завершении цикла развития в организме лошади в конце зимне-стойлового периода выделяются вместе с фекалиями во внешнюю среду и при визуальном осмотре хорошо заметны (рис. 9).

Сравнительную оценку экстенсивности противопаразитарных препаратов проводили в хозяйствах Витебской и Гомельской областях. Было подвергнуто обработке 245 лошадей. Терапевтическую эффективность препаратов авермектинового ряда (универм, ривертин 1 %, авермектиновая паста 1 %, ивермектин 1 %, дектомакс 1 %) определяли при кишечных нематодозах лошадей, инвазированных моно- и полиинвазиями, такими как кишечные стронгилятозы + параскариоз, кишечные стронгилятозы + параскариоз + оксиуроз, кишечные стронгилятозы + оксиуроз. Для этого были сформированы опытные группы, по 20 гол. в каждой. По результатам проведенных опытов установлено, что препараты



Рис. 9. Личинки гастерофилюсов в фекалиях лошадей после обработки ветеринарным препаратом «Празимакс» на третий день. Лаборатория кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных ВГАВМ, 2019 г.

Fig. 9. *Gasterophilus* larvae in horse feces after treatment with the veterinary drug “Prazimax” on the third day. Laboratory of the Department of Parasitology and Invasive Animal Diseases of the ASAVM, 2019

авермектинового ряда обладают 100%-ной экстенсэффективностью в каждой опытной группе. Важно отметить, что персистенция антигельминтного действия составляет 2 мес в дозах, рекомендуемых инструкциями по применению. Кроме того, во всех опытных группах отмечалось массовое отхождение личинок гастреофилюсов в течение первых 3 дней после обработки, что свидетельствует как о 100%-ном заражении лошадей гастреофилезом, так и высокой эффективности применяемых препаратов.

Изучение экстенсэффективности пасты «Алезан» определяли на лошадях, инвазированных кишечными нематодозами и анолоцефалидозом. По результатам проведенной обработки экстенсэффективность составила 100 %, а продолжительность антигельминтного действия – до 2 месяцев.

Учет антигельминтной обработки препаратами бензимидазольного ряда «Фенбендазол 20 %» и «Альбендазол 20 %» изучали на лошадях, спонтанно инвазированных кишечными стронгилятозами и параскариозом. Установлено, что противопаразитарный эффект при однократной обработке наблюдается в течение 2,5–3 недель, после чего с фекалиями выделяются яйца паразитов.

По результатам производственных испытаний препарат «Празимакс» показал 100%-ную противопаразитарную эффективность во всех группах исследования. Важно отметить, что персистенция антигельминтного действия составляет 2,0–2,5 мес, о чем свидетельствуют результаты копроовоскопических исследований. Кроме того, ветеринарный препарат «Празимакс» обладает 100%-ным этиотропным действием на личиночные стадии гастреофилюсов. Экономическая эффективность применения ветеринарного препарата «Празимакс» составляет 2,83 руб. на 1 рубль затрат.

Таким образом, применение нового ветеринарного препарата «Празимакс» позволит профилировать и успешно вести борьбу с ассоциативным течением паразитозов пищеварительного тракта лошадей в коневодческих хозяйствах Республики Беларусь.

### Выводы

1. Зараженность лошадей паразитами желудочно-кишечного тракта в некоторых хозяйствах Республики Беларусь достигает 100 %. Преимущественно инвазии протекают в ассоциации, где доминирующими компонентами паразитоценоза являются стронгиляты (до 100 %), гастреофилюсы (до 100 %), параскариды, оксиуриды, анолоцефалы (до 60 %).

2. Видовой состав паразитов лошадей, локализующихся в желудочно-кишечном тракте, представлен 31 видами нематод, где доминирующими являются следующие: *Cyathostomum tetracanthum*, *Cylicocycclus nassatus*, *Cylicostephanus longibursatus*, *Cylicostephanus goldi*, *Cyathostomum pateratum*, *Cylicocycclus insigne*, *Cylicostephanus minutus*, *Coronocycclus labiatus*, *Cylicostephanus calicatus*, *Cylicocycclus ultrajectinus*, *Triodontophorus serratus*, *Triodontophorus brevicauda*, *Oxyuris equi*, *Parascaris equorum*, а также личинками гастреофилюсов, цестодой вида *Anoplocephala perfoliata*, эймериями вида *Eimeria leuckarti*.

3. Оценка терапевтической эффективности применяемых противопаразитарных средств показала, что препараты авермектинового ряда (универм, ривертин 1 % гранулят, авермектиновая паста 1 %, паста алезан, ивермектин 1 %, дектомакс) при ассоциативном течении кишечных нематодозов и гастреофилеза обладают 100%-ной экстенсэффективностью. В течение 2 мес после обработки не отмечается выделение с фекалиями яиц гельминтов, что свидетельствует о их пролонгированном действии. Экстенсэффективность препаратов бензимидазольного ряда (альбендазол 20 %, фенбендазол 20 %) при полиинвазии, вызванной кишечными стронгилятами и параскаридами, составляет 100 % с продолжительностью терапевтического эффекта в течение первых 3 недель после обработки.

4. При моно- и полиинвазиях желудочно-кишечного тракта лошадей экстенсэффективность ветеринарного препарата «Празимакс» составляет 100 % с персистенцией противопаразитарного действия в течение 2,0–2,5 мес.

Имеющаяся информация о распространении ассоциативного течения паразитоценозов пищеварительного тракта лошадей, возрастной и сезонной динамики позволит врачам ветеринарного профиля своевременно поставить диагноз, провести дифференциальную диагностику, определить оптимальные сроки диагностических, лечебных и профилактических обработок с учетом специфики паразитоценоза.



**Благодарности.** Работа выполнена в рамках п. 2 Государственной программы «Приоритетные направления научно-технической деятельности в Республике Беларусь» на 2016–2020 годы, в рамках темы кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных Витебской государственной академии ветеринарной медицины «Изучение паразитарных систем и разработка новых средств лечения и профилактики инвазионных болезней животных» на 2016–2020 годы.

### Список использованных источников

1. Двойнос, Г. М. Стронгилиды домашних и диких лошадей / Г. М. Двойнос, В. А. Харченко. – Киев : Наук. думка, 1994. – 233 с.
2. Длубаковский, В. И. Ассоциативные нематодозы лошадей в Беларуси / В. И. Длубаковский // Ветеринарная наука – производству : науч. тр. / Ин-т эксперим. ветеринарии им. С. Н. Вышелесского НАН Беларуси. – Минск, 2002. – Вып. 36. – С. 169–178.
2. Ивашкин, В. М. Определитель гельминтозов лошадей / В. М. Ивашкин, Г. М. Двойнос. – Киев : Наук. думка, 1984. – 164 с.
3. Фауна трихонематид (Strongylida: Trichonematidae) у лошадей Каракалпакстана / А. Ж. Каниязов [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т фундам. и приклад. паразитологии животных и растений. – М., 2019. – Вып. 20. – С. 247–251. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.247-251>
4. Понамарев, Н. М. Эколого-эпизоотологическая характеристика оксиуроза лошадей в Алтайском крае / Н. М. Понамарев, Н. В. Тихая // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. – 2018. – № 4 (162). – С. 146–149.
5. Понамарев, Н. Фауна нематод, паразитирующих у сельскохозяйственных животных Алтайского края / Н. Понамарев, Н. Лунева // Ветеринария с.-х. животных. – 2018. – № 12. – С. 31–35.
6. Пузанова, Е. В. Современная эпизоотическая ситуация по стронгилятозам лошадей в Российской Федерации / Е. В. Пузанова, А. Н. Постевой // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т фундам. и приклад. паразитологии животных и растений. – М., 2019. – Вып. 20. – С. 492–498. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.492-498>
7. Стасюкевич, С. И. Гастерофилез лошадей: проблемы и меры борьбы / С. И. Стасюкевич // Наше сел. хоз-во. – 2013. – № 20. – С. 56–62.
8. Ятусевич, А. И. Гастерофилез лошадей и меры борьбы с ним / А. И. Ятусевич, С. И. Стасюкевич, М. В. Скуловец // Эпизоотология, иммунобиология, фармакология и санитария. – 2008. – № 1. – С. 16–22.
9. Адаптационные процессы и паразитозы животных / А. И. Ятусевич [и др.] ; ред. А. И. Ятусевич. – 2-е изд., перераб. – Витебск : ВГАВМ, 2020. – 571 с.
10. Гастерофилезы лошадей / А. И. Ятусевич [и др.] // Паразитология и инвазионные болезни животных : учебник / А. И. Ятусевич [и др.] ; ред. А. И. Ятусевич. – Минск, 2017. – С. 490–495.
11. Руководство по ветеринарной паразитологии / А. И. Ятусевич [и др.] ; ред.: В. Ф. Галат, А. И. Ятусевич. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 495 с.
12. Гастерофилез однокопытных / А. И. Ятусевич [и др.] // Арахноэнтомозные болезни животных / А. И. Ятусевич [и др.] ; под ред. А. И. Ятусевича. – Витебск, 2019. – С. 140–172.
13. Василевич, Ф. И. Оводовые болезни животных и современные меры борьбы с ними / Ф. И. Василевич, С. И. Стасюкевич, А. И. Ятусевич. – М. : МГАВМиБ, 2013. – 311 с.
14. Гельминты желудочно-кишечного тракта лошадей в Республике Беларусь / А. И. Ятусевич [и др.] // Ветеринар. медицина Беларуси. – 2003. – № 4/5. – С. 30–33.
15. Синяков, М. П. Ассоциативные гельминтозы лошадей и меры борьбы с ними / М. П. Синяков, Е. М. Шевякова // Учен. зап. учреждения образования «Витеб. ордена «Знак Почета» гос. акад. ветеринар. медицины». – 2013. – Т. 49, вып. 1, ч. 1. – С. 58–60.
16. Синяков, М. П. Ассоциативные паразитозы лошадей Беларуси / М. П. Синяков // Учен. зап. учреждения образования «Витеб. ордена «Знак Почета» гос. акад. ветеринар. медицины». – 2017. – Т. 53, вып. 1. – С. 136–139.
17. Синяков, М. П. Кишечные гельминтозы лошадей Беларуси / М. П. Синяков. – Витебск : ВГАВМ, 2018. – 179 с.
18. Синяков, М. П. Паразитофауна пищеварительной системы лошадей Беларуси / М. П. Синяков // Паразитарные системы и паразитоценозы животных : материалы V науч.-практ. конф. Междунар. ассоц. паразитоценологов, Витебск, 24–27 мая 2016 г. / Витеб. гос. акад. ветеринар. медицины ; ред.: А. И. Ятусевич [и др.]. – Витебск, 2016. – С. 159–162.
19. Синяков, М. П. Эпизоотология микстпаразитозов лошадей в Республике Беларусь / М. П. Синяков, Г. А. Стогначева, Н. Д. Солейчук // Учен. зап. учреждения образования «Витеб. ордена «Знак Почета» гос. акад. ветеринар. медицины». – Витебск, 2019. – Т. 55, вып. 4. – С. 80–85.
20. Алезан – новый высокоэффективный антгельминтик при нематодозах лошадей / А. Н. Герке [и др.] // Ветеринария. – 2006. – № 9. – С. 11–12.
21. Испытание противопаразитарной пасты на основе ивермектина при основных паразитозах лошадей в условиях производства / М. Б. Мусаев [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т фундам. и приклад. паразитологии животных и растений. – М., 2017. – Вып. 18. – С. 285–288.

22. Комиссионное испытание противопаразитарной пасты на основе ивермектина при основных гельминтозах лошадей / М. Б. Мусаев [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т фундам. и приклад. паразитологии животных и растений. – М., 2017. – Вып. 18. – С. 289–292.
23. Калугина, Е. Г. Изучение эффективности «Эквалан Дуо» при гельминтозах лошадей / Е. Г. Калугина, О. А. Столбова // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т фундам. и приклад. паразитологии животных и растений. – М., 2019. – Вып. 20. – С. 242–246. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.242-246>
24. Ятусевич, А. И. Трихонематидозы лошадей / А. И. Ятусевич, М. П. Синяков. – Витебск : ВГАВМ, 2011. – 106 с.
25. Паразитозы желудочно-кишечного тракта лошадей Беларуси / А. И. Ятусевич [и др.] // Паразитарные болезни человека, животных и растений : тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. / Витеб. гос. мед. ун-т, Отд-ние мед. наук НАН Беларуси ; редкол.: О.-Я. Л. Бекиш [и др.] – Витебск, 2008. – С. 340–343.
26. Синяков, М. П. Проблема эймериоза лошадей в Республике Беларусь / М. П. Синяков, В. М. Мироненко // Учен. зап. учреждения образования «Витеб. гос. акад. ветеринар. медицины». – 2011. – Т. 47, вып. 2, ч. 1. – С. 94–96.

## References

1. Dvoinos G. M., Kharchenko V. A. *Strongylids of domestic and wild horses*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1994. 233 с. (in Russian).
2. Dlubakovskii V. I. Associative nematodes of horses in Belarus. *Veterinarnaya nauka - proizvodstvu: nauchnye trudy* [Veterinary science to production: scientific works]. Minsk, 2002, iss. 36, pp. 169-178 (in Russian).
2. Ivashkin V. M., Dvoinos G. M. *Determinant of helminthoses of horses*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1984. 164 p. (in Russian).
3. Kaniyazov A. Zh., Shakarboev E. B., Akramova F. D., Azimov D. A. Fauna of trichonematids (Strongylida: Trichonematidae) of the horses of Karakalpakstan. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Theory and practice of combating parasitic diseases: collection of scientific articles adapted from the international scientific conference*. Moscow, 2019, iss. 20, pp. 247-251. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.247-251>
4. Ponamarev N. M., Tikhaya N. V. Ecological and epizootological characteristics of oxyuriasis in horses in the Altai region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 4 (162), pp. 146-149 (in Russian).
5. Ponamarev N., Luneva N. The fauna of nematodes parasitizing in agricultural animals in the Altai territory. *Veterinariya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* [Veterinary medicine of farm animals], 2018, no. 12, pp. 31-35 (in Russian).
6. Puzanova E. V., Postevoi A. N. Modern epizootic situation on strongylatosis of horses in the Russian Federation. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Theory and practice of combating parasitic diseases: collection of scientific articles adapted from the international scientific conference*. Moscow, 2019, iss. 20, pp. 492-498 (in Russian). <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.492-498>
7. Stasyukevich S. I. Horse gastrophilosis: problems and control measures. *Nashe sel'skoe khozyaistvo* [Our Agriculture], 2013, no. 20, pp. 56-62 (in Russian).
8. Yatusевич A. I., Stasyukevich S. I., Skulovets M. V. Horses gastrophilosis and control measures. *Epizootologiya, immunobiologiya, farmakologiya i sanitariya* [Epizootology, Immunobiology, Pharmacology and Sanitation], 2008, no. 1, pp. 16-22 (in Russian).
9. Yatusевич A. I., Yatusевич I. A., Motuzko N. S., Samsonovich V. A., Kovalevskaya E. O., Bratushkina E. L. (et al.). *Adaptation processes and parasitosis of animals*. 2<sup>nd</sup> ed. Vitebsk, Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2020. 571 p. (in Russian).
10. Yatusевич A. I., Karasev N. F., Yakubovskii M. V., Stasyukevich S. I. Horse gastrophilosis. *Parazitologiya i invazionnye bolezni zhivotnykh* [Parasitology and invasive diseases of animals]. Minsk, 2017, pp. 490-495 (in Russian).
11. Yatusевич A. I., Galat V. F., Mironenko V. M., Berezovskii A. V., Prus M. P., Bratushkina E. L. *Guidelines for veterinary parasitology*. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2015. 495 p. (in Russian).
12. Yatusевич A. I., Kaplich V. M., Yatusевич I. A., Skulovets M. V., Gerasimchik V. A. Stasyukevich S. I. (et al). *Gastrophilosis of one-hoofed animals. Arakhoentomoznye bolezni zhivotnykh* [Arachnoentomous diseases of animals]. Vitebsk, 2019, pp. 140-172 (in Russian).
13. Vasilevich F. I., Stasyukevich S. I., Yatusевич A. I. *Gadfly diseases of animals and modern measures to control them*. Moscow, The Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 2013. 311 p. (in Russian).
14. Yatusевич A. I., Petrukovich V. V., Sinyakov M. P., Dubina I. N. Helminths of the gastrointestinal tract of horses in the Republic of Belarus. *Veterinarnaya meditsina Belarusi* [Veterinary Medicine of Belarus], 2003, no. 4/5, pp. 30-33 (in Russian).
15. Sinyakov M. P., Shevyakova E. M. Horse associative helminthiasis and control measures. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny»* [Scientific notes of the educational institution “Vitebsk Order “Sign of Honor” State Academy of Veterinary Medicine”], 2013, vol. 49, iss. 1, pt. 1, pp. 58-60 (in Russian).
16. Sinyakov M. P. Associative parasitosis of horses in Belarus. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny»* [Scientific notes of the educa-

tional institution “Vitebsk Order “Sign of Honor” State Academy of Veterinary Medicine”], 2017, vol. 53, iss. 1, pp. 136-139 (in Russian).

17. Sinyakov M. P. *Intestinal helminthiasis of horses in Belarus*. Vitebsk, Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2018. 179 p. (in Russian).

18. Sinyakov M. P. Parasite fauna of the digestive system of horses in Belarus. *Parazitarnye sistemy i parazitotsenozy zhivotnykh: materialy V nauchno-prakticheskoi konferentsii Mezhdunarodnoi assotsiatsii parazitotsenologov, Vitebsk, 24-27 maya 2016 g.* [Parasitic systems and parasitocenoses of animals: proceedings of the 5th scientific-practical conference of the International Association of Parasitocenologists, Vitebsk, May 24-27, 2016]. Vitebsk, 2016, pp. 159-162 (in Russian).

19. Sinyakov M. P., Stognacheva G. A., Soleichuk N. D. Epizootology of mixed parasitosis of horses in the Republic of Belarus. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny»* [Scientific notes of the educational institution “Vitebsk Order “Sign of Honor” State Academy of Veterinary Medicine”], 2019, vol. 55, iss. 4, pp. 80-85 (in Russian).

20. Gerke A. N., Konopatov Yu. V., Shustrova M. V., Engashev S. V. Alezan as a new highly effective anthelmintic for equine nematodes. *Veterinariya* [Veterinary Medicine], 2006, no. 9, pp. 11-12 (in Russian).

21. Musaev M. B., Vatsaev Sh. V., Bersanova Kh. I., Dzhamalova A. Z., Salgiriev I. R., Baisarova Z. T. Testing of antiparasitic ivermectin-based paste against the most significant parasitoses of horses in field conditions. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Theory and practice of combating parasitic diseases: collection of scientific articles adapted from the international scientific conference*. Moscow, 2017, iss. 18, pp. 285-288 (in Russian).

22. Musaev M. B., Bersanova Kh. I., Vatsaev Sh. V., Dzhamalova A. Z., Salgiriev I. R. Commission testing of antiparasitic ivermectin-based paste against the most significant helminthoses of horses. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Theory and practice of combating parasitic diseases: collection of scientific articles adapted from the international scientific conference*. Moscow, 2017, iss. 18, pp. 289-292 (in Russian).

23. Kalugina E. G., Stolbova O. A. Studying of efficiency “duo ekvalan” at helminthoses of horses. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Theory and practice of combating parasitic diseases: collection of scientific articles adapted from the international scientific conference*. Moscow, 2019, iss. 20, pp. 242-246 (in Russian). <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.242-246>

24. Yatushevich A. I., Sinyakov M. P. *Trichonematidoses of horses*. Vitebsk, Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2011. 106 p. (in Russian).

25. Yatushevich A. I., Sinyakov M. P., Petrukovich V. V., Soglaev S. N. Parasitoses of the gastrointestinal tract of horses in Belarus. *Parazitarnye bolezni cheloveka, zhivotnykh i rastenii: trudy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Parasitic diseases of humans, animals and plants: proceedings of the VI international scientific and practical conference]. Vitebsk, 2008, pp. 340-343 (in Russian).

26. Sinyakov M. P., Mironenko V. M. The problem of eimeriosis in horses in the Republic of Belarus. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny»* [Scientific notes of the educational institution “Vitebsk Order “Sign of Honor” State Academy of Veterinary Medicine”], 2011, vol. 47, iss. 2, pt. 1, pp. 94-96 (in Russian).

## Информация об авторе

Синяков Максим Петрович – кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры паразитологии и инвазионных болезней животных, Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины (ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026 Витебск, Республика Беларусь). E-mail: vsavm@vsavm.by. <http://orcid.org/0000-0001-5112-0085>.

## Information about author

Maksim P. Sinyakov - Ph. D. (Veterinary), Assistant Professor. Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (1 Dovatora Str., 7/11, Vitebsk 210026, Republic of Belarus). E-mail: vsavm@vsavm.by. <http://orcid.org/0000-0001-5112-0085>.

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭНЕРГЕТИКА**  
**MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING**

УДК 631.316.4-52

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>

Поступила в редакцию 03.03.2021

Received 03.03.2021

**В. В. Азаренко<sup>1</sup>, Д. И. Комлач<sup>2</sup>, В. В. Голдыбан<sup>2</sup>, И. А. Барановский<sup>2</sup>, Г. А. Прокопович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь*

<sup>3</sup>*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

**РАЗРАБОТКА НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПАШНЫМ  
КУЛЬТИВАТОРОМ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ**

**Аннотация:** Автоматизация удаления сорняков представляется очень перспективной технологией исходя из огромных усовершенствований в сфере компьютерной обработки, машинного зрения и робототехники. Системы машинного зрения базируются на разнице в цвете между культурными растениями в рядке и почвы. В статье приводится описание навесной системы для ориентации пропашного культиватора по рядкам и его смещение относительно трактора с помощью систем технического зрения и автоматического управления. Разработанная система технического зрения способна на основе использования технологии искусственных нейронных сетей глубокого обучения четко определять листья сахарной свеклы, а специально разработанный алгоритм выявления центра междурядья направлять подвижную часть культиватора в требуемую сторону для нивелирования неточности хода трактора. Применение управляемого навесного устройства с трактором и орудием на основе систем технического зрения точность выполнения технологических операций по уходу за пропашными культурами, повысит технический уровень машинотракторного агрегата, снизит трудозатраты. Использование систем технического зрения и автоматического управления культиватором позволит повысить качество междурядных обработок пропашных культур и уменьшит пестицидную нагрузку на окружающую среду. Результаты настоящих исследований могут быть использованы при создании машин для возделывания сельскохозяйственных культур с автоматизированной системой управления. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы, подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК».

**Ключевые слова:** междурядная обработка, машинное зрение, точное вождение, система распознавания, система управления, планирование траектории, защитная зона, сахарная свекла, пропашной культиватор, трактор, пропашные культуры, навигационная система, автоматизированная система управления, сорняки

**Для цитирования:** Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме / В. В. Азаренко, Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, И. А. Барановский, Г. А. Прокопович // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 232–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>

**Vladimir V. Azarenko<sup>1</sup>, Dmitry I. Komlach<sup>2</sup>, Victor V. Goldyban<sup>2</sup>, Ivan A. Baranovsky<sup>2</sup>, Gregory A. Prokopovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

<sup>2</sup>*Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, Minsk, Belarus*

<sup>3</sup>*The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**DEVELOPMENT OF MOUNTED SYSTEM FOR CONTROLLING ROW CROP CULTIVATOR  
IN AUTOMATIC MODE**

**Abstract:** Weed control automation appears to be a very promising technology based on the tremendous advances in computer processing, machine vision and robotics. Machine vision systems are based on size differences between crops and weeds and on the regular structure of crop rows, allowing the system to recognize crop plants and control surrounding weeds. The paper provides description of the mounted system for orienting the row cultivator in rows and its



displacement relative to the tractor using vision systems and automatic control. The developed technical vision system is capable of clearly identifying sugar beet leaves based on the deep learning artificial neural networks technology, and a specially developed algorithm for identifying the center of the row spacing to control the moving part of the cultivator in the required direction to level the inaccuracy of the tractor. The use of controlled mounted device with a tractor and an implement based on vision systems, the accuracy of technological operations for the row crops care, will increase the technical level of the machine and tractor unit, and reduce labor costs. Technical vision systems and automatic control of the cultivator will improve the quality of inter-row cultivation of row crops and reduce the pesticide load on the environment. The results of these studies can be used to create machines for cultivation of agricultural crops with an automated control system. **Acknowledgments.** The research was carried out within the framework of the State Scientific Research Program “Quality and Efficiency of Agroindustrial Production” for 2016-2020, subprogram “Mechanization and Automation of Processes in the Agroindustrial Complex”.

**Keywords:** inter-row cultivation, machine vision, precision driving, recognition system, control system, trajectory planning, protection zone, sugar beet, row cultivator, tractor, row crops, navigation system, automated control system, weeds

**For citation:** Azarenko V. V., Komlach D. I., Goldyban V. V., Baranovsky I. A., Prokopovich G. A. Development of mounted system for controlling row crop cultivator in automatic mode. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 232-242 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>

**Введение.** Проблема засоренности культурных посевов сорняками является общепризнанной [1, 2]. Засоренность культурных посевов сорняками приводит к значительным потерям урожая, особенно в органическом производстве овощей, где культурные растения всегда характеризуются низкой конкурентоспособностью с сорняками, которые хорошо приспособлены к прохладным весенним температурам, быстрее образуют мощную, продуктивную наземную и подземную массу и подавляют посевы культурных растений путем выноса влаги и питательных веществ [3]. Физическая борьба с сорняками является самой распространенной и использует механические средства, применяемые для обработки почвы [4].

За период вегетации пропашных культур рекомендуется проводить не менее 2–4 междурядных обработок. Кроме борьбы с сорной растительностью при культивации междурядий почва быстрее прогревается, усиливается газообмен между почвой и воздухом, активизируется мобилизация питательных веществ, снижаются капиллярные потери влаги и улучшается инфильтрация воды в почву. Это способствует интенсивному развитию формирующейся в это время корневой системы.

При механизированной обработке междурядий культурные растения могут повреждаться рабочими органами культиватора [5–7]<sup>1</sup>. Во избежание этого рабочие органы размещают на требуемом расстоянии от рядка культурных растений. Поэтому после прохода культиватора с обеих сторон рядка оставляется необработанная полоска – защитная зона. В разные периоды обработки междурядий защитные зоны составляют 28–43 % от общей площади междурядий [8, 9]. Именно такая площадь остается необработанной, что ведет к резкому снижению урожайности из-за сорняков, расположенных в защитной зоне растений. Группа исследователей поставила цель повысить урожайность и снизить потребность в рабочей силе для прополки, которая часто является основным компонентом стоимости для производителей органических овощей. Цель была достигнута в соответствии с увеличением урожайности укропа и чеснока примерно на 20 и 40 %, в то время как для моркови значительных различий не наблюдалось [10].

Основным препятствием в уменьшении защитных зон является неустойчивость движения рабочих органов культиватора в почве. Работа тракториста при междурядных обработках, как правило, сопряжена с чрезмерно большими психофизическими нагрузками, ему приходится совершать в течение часа от 800 до 1000 поворотов рулевого колеса. В этих условиях частое запаздывание реакции механизатора составляет в среднем не менее 0,25 с. За это время машина при скорости 9–10 км/ч, имея значительную угловую ошибку, отклонится от требуемого направления на 50–100 мм. Все это способствует большому отклонению рабочих органов культиватора от линии защитной зоны. Из-за этого величина защитной зоны по одну сторону от рядка составляет не менее 10 см, а рабочие скорости ряда пропашных культиваторов не превышают 6 км/ч, в то время как по своим техническим параметрам эти машины могут работать при

<sup>1</sup> Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2020. 179 с.

скоростях 10 км/ч и выше. Снижение рабочих скоростей при междурядной обработке как одной из наиболее малоэнергоёмких сельскохозяйственных операций влечёт за собой снижение производительности машинно-тракторного агрегата (МТА).

Для увеличения обрабатываемой площади в междурядьях и уменьшения защитной зоны в 1,5–2 раза по сравнению с оставляемыми в настоящее время необходимо повысить точность и стабильность ориентации культиватора в междурядьях в период ухода за посадками [11, 12]<sup>2</sup>. Поэтому основной задачей обеспечения требуемой точности движения культиватора в междурядьях пропашных культур на оптимальной рабочей скорости является ориентация пропашного культиватора по рядкам и его смещение относительно трактора с помощью автоматизированной системы управления. Значительное количество исследований и публикаций посвящена роботизированным технологиям использования культиваторов и борьбы с сорняками [13–19]<sup>3</sup>.

Группа специалистов американских университетов считает, что автоматизация удаления сорняков представляется очень перспективной технологии, исходя из огромных усовершенствований в сфере компьютерной обработки, машинного зрения и робототехники [16]. Экономические и нормативные ограничения на развитие гербицидов гораздо больше, чем для технологии интеллектуального удаления сорняков. Компании, разрабатывающие интеллектуальные технологии удаления сорняков, сравнительно небольшие по сравнению с традиционными пестицидными компаниями и менее ограничены наследственными проблемами. Системы машинного зрения базируются на разнице в цвете между культурными растениями в рядке и почвы, что позволяет системе распознавать сельскохозяйственные растения и контролировать окружающие сорняки.

Исследователи университета Hohenheim Stuttgart (Germany) в 2013–2014 гг. изучали преимущества новых сенсорных технологий для распознавания посевов культурных растений и сорняков, чтобы ориентировать культиватор точно вдоль ряда, по сравнению с обычной механической борьбой с сорняками [12].

Цель настоящей работы – разработка навесной системы для ориентации пропашного культиватора по рядкам и его смещение относительно трактора с помощью систем технического зрения и автоматического управления.

**Теоретическая часть.** С целью повышения качества междурядной обработки лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов Научно-практического центра НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства совместно с Объединённым институтом проблем информатики Национальной академии наук Беларуси выполнялась разработка и изготовление автоматической управляемой навесной системы (АУНС) для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке сахарной свеклы (рис. 1).

АУНС состоит из механической части и аппаратно-программного обеспечения. Механическая часть представляет собой рамную конструкцию с верхней и нижней направляющими, по которым перемещается подвижная рамка с навешиваемым на нее культиватором.

<sup>2</sup> Применение направляющих щелей при возделывании сахарной свеклы для управления культиватором: методические рекомендации / В.С. Глуховский [и др.]. Чернигов: Десна, 1987. 19 с.; Рабочий орган для нарезки щелей в почве : пат. SU 1396975 / В.С. Глуховский, В.И. Ветохин, В.Н. Данченко, Ю.С. Мухин, К.К. Бернасовский, Г.В. Чернявский. – Оpubл. 23.05.1988; Якименко К.Н. Совершенствование способа и рабочих органов для коррекции направления движения пропашных агрегатов вдоль рядков сахарной свеклы на уходе за посевами: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Киев, 1990. 217 л.; Traffic system, especially public local passenger traffic system: pat. US 4069888 / G. Wolters, P. Striffler. Publ. date 24.01.1978; Positioning system particularly useful for positioning agricultural implements: pat. US 4835691 / A. Rotem, E. Silberg, S. Israeli. Publ. date 30.05.1989.

<sup>3</sup> Robotic cultivator : pat. US 5442552 / D.C. Slaughter, R.G. Curley, P. Chen, D.K. Giles. Publ. date 15.08.1995; Универсальная прополочная техника: Chopstar, Rollstar, Hillstar, Row-Guard, Jumbo [Электронный ресурс] / Einböck. Режим доступа: [https://www.einboeck.at/uploads/downloads/190123-CHOPSTAR-RU\\_04.pdf](https://www.einboeck.at/uploads/downloads/190123-CHOPSTAR-RU_04.pdf). Дата доступа: 05.07.2020; Camera steering system ROW-GUARD [Electronic resource] // Einböck. Mode of acces: <https://www.einboeck.at/en/products/crop-care/camera-steering-system/row-guard>. Date of access: 05.07.2020; Robotic intra-row weed hoeing in maize and sugar beet / R. Gerhards [et al.] // Julius-Kühn-Archiv. 2016. №452. P. 462–463.

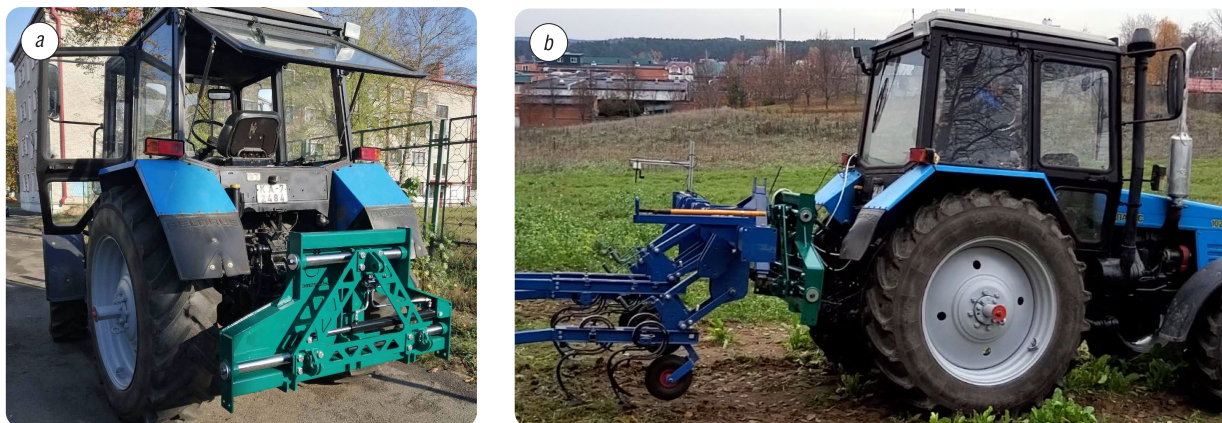


Рис. 1. Автоматическая управляемая навесная система: *a* – исполнительный механизм АУНС; *b* – исполнительный механизм АУНС в агрегате с пропашным культиватором. Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2020 г.

Fig. 1. Automatic controlled mounted system: *a* - executive mechanism AUNS; *b* - executive mechanism AUNS in the unit with till cultivator. Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, 2020

Перемещение подвижной рамки вправо или влево осуществляться гидроцилиндром посредством электромагнитного распределителя. Основные характеристики АУНС представлены в табл. 1.

В основу работы системы автоматического управления пропашным культиватором положена концепция использования визуальной информации о положении растений в рядке, полученной с видеокамеры. Вычислительный модуль на основании полученной видеоинформации от камеры и заложенной в него логики способен через блок управления воздействовать на гидро-распределитель, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндра и подвижной части смещает сельскохозяйственную машину, например культиватор, в нужную сторону. Оператор, которым является механизатор, может самостоятельно влиять на логику работы вычислительного модуля через сенсорный монитор (рис. 2).

Для оценки эффективности АУНС по распознаванию с помощью систем технического зрения всходов культурных растений в посевах сахарной свеклы были заложены экспериментальные делянки сахарной свеклы. Закладка делянок сахарной свеклы производилась с междурядьем 45 см. Разница в сроках посева опытных делянок составляла 2 недели. Рельеф местности выбирался с учетом специфики проведения исследований.

Система технического зрения способна на основе использования технологии искусственных нейронных сетей глубокого обучения четко определять листья сахарной свеклы, а специально разработанный алгоритм выявления центра междурядья направлять подвижную часть культиватора в требуемую сторону для нивелирования неточности хода трактора [20]<sup>4</sup>.

**Практическая часть.** Посевы в период роста сахарной свеклы использовались для создания обучающей выборки по распознаванию культурных растений. Изначально были рассмотрены алгоритмы распознавания

Таблица 1. Основные характеристики АУНС

Table 1. Main characteristics of AUNS

Показатель	Значение
Тип системы	Навесная
Масса устройства, кг	220
Грузоподъемность, т	До 1,5
Рабочее напряжение бортовой электросети трактора, В	12
Смещающий диапазон подвижной рамки, мм	±250
Габаритные размеры, мм: ширина высота	1635 865
Допустимое количество ошибок, %	3
Скорость движения МТА, км/ч	От 5 до 10
Агрегируемый класс трактора, кН	1,4

<sup>4</sup> Агротребования к новым машинам для механизации перспективных агротехнологий возделывания пропашных культур / И. И. Гуреев [и др.]. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. 35 с.

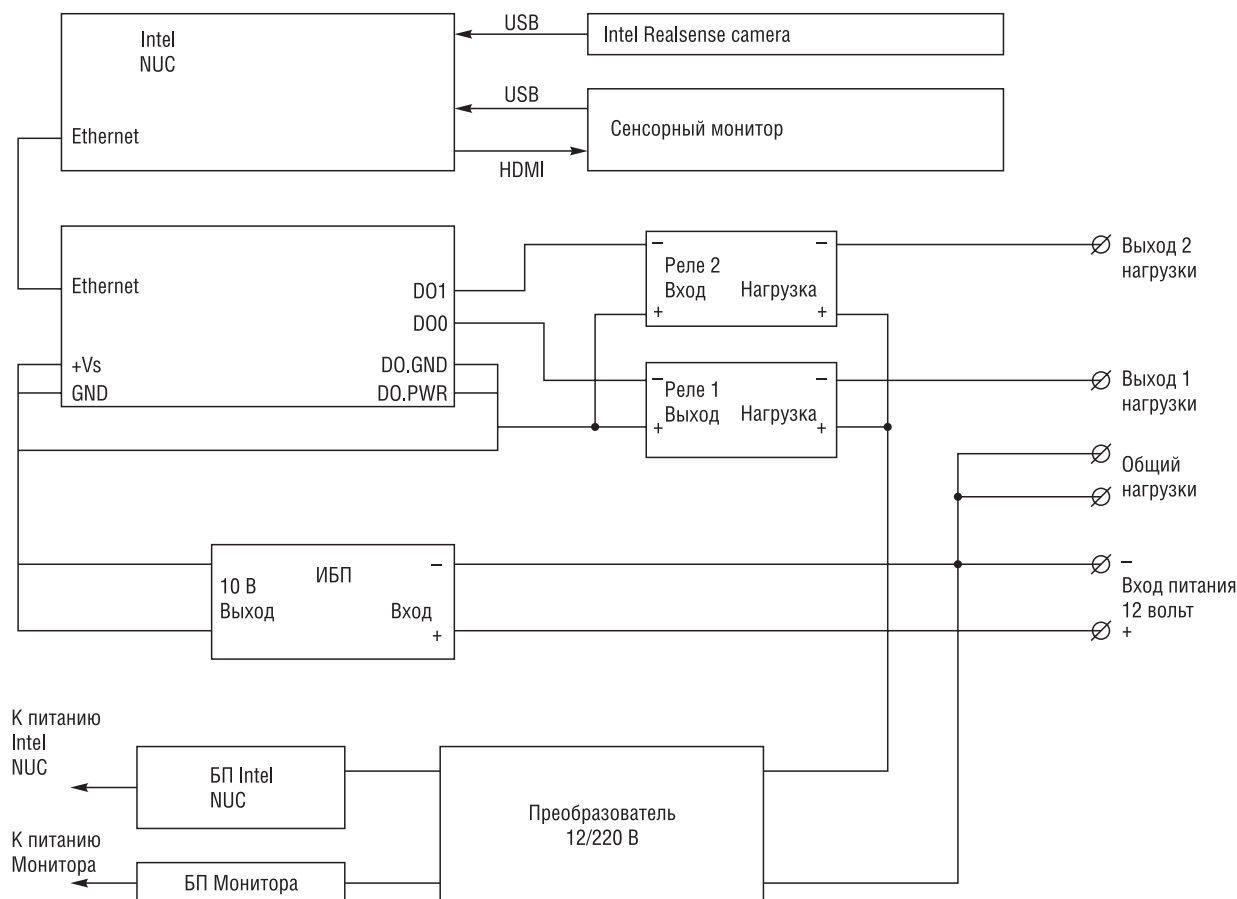


Рис. 2. Экспериментальный стенд САУПК

Fig. 2. Experimental installation SAUPK

листьев сахарной свеклы, которые базируются исключительно на анализе цветовых пространств, проиллюстрированных на рис. 3:

- 1) математическое ожидание в цветовом пространстве  $Lab$ ;
- 2) кластеризация методом  $k$ -средних в цветовом пространстве  $HSV$ ;
- 3) кластеризация с помощью нахождения суперпикселей в цветовом пространстве  $RGB$ .

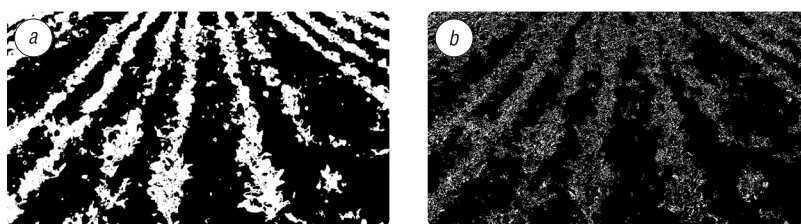


Рис. 3. Результаты сегментации в различных цветовых пространствах:  $a$  – математическое ожидание в цветовом пространстве  $Lab$ ;  $b$  – кластеризация методом  $k$ -средних в цветовом пространстве  $HSV$

Fig. 3. Results of segmentation in different color spaces:  $a$  - mathematical expectation in the  $Lab$  color space;  $b$  - clustering by the  $k$ -means method in the  $HSV$  color space

Оба способа были использованы для обработки изображения, приведенного на рис. 3,  $b$ . Кластеризация с помощью нахождения суперпикселей в цветовом пространстве  $RGB$  является более сложной и может быть проиллюстрирована на следующих изображениях. Сначала применяется непосредственная кластеризация методом выделения суперпикселей рис. 3,  $a$ ). Затем цвета



пикселей, относящиеся к одному суперпикселю, усредняются. Однако из-за сложности всей картины и несмотря на хороший эстетический эффект, который можно видеть на рис. 3, *b*, это не привело к значительным результатам. Чтобы это доказать, попробовали кластеризовать полученные суперпиксели на 6 кластеров, как показано на рис. 4, *c*. Как видно из рис. 4, *c*, смысловая нагрузка, к сожалению, размывается.



Рис. 4. Результаты сегментации с помощью деления изображения на суперпиксели: *a* – кластеризация методом выделения суперпикселей; *b* – усреднение цветов, относящихся к одному суперпикселю; *c* – кластеризация полученных суперпикселей на 6 кластеров

Fig. 4. Results of segmentation by dividing the image into superpixels: *a* - clustering by the method of extracting superpixels; *b* - averaging the colors related to one superpixel; *c* - clustering the obtained superpixels into 6 clusters

В связи с этим было предложено скомбинировать приведенные выше методы в новый, который описывается следующими шагами (рис. 5):

- 1) выбрать эталонное изображение и в ручном режиме сформировать бинарную маску, позволяющую выделить искомый объект на всем изображении (рис. 5, *a*);
- 2) вычислить математическое ожидание значений яркости красного и зеленого каналов каждого пикселя в цветовом пространстве *RGB*;
- 3) произвести пороговую бинарную сегментацию входного цветного изображения на основе эмпирически подобранного значения пороговой величины;
- 4) кластеризовать входное цветное изображение на  $N$  суперпикселей (рис. 5, *a*);
- 5) наложить границы полученных  $N$  суперпикселей на бинарное изображение, полученное на шаге 3 (рис. 5, *b*);
- 6) классифицировать каждый из  $N$  суперпикселей на основе сравнения количества пикселей, соответствующих искомому объекту, с заранее эмпирически подобранном пороговым значением (рис. 5, *c*).

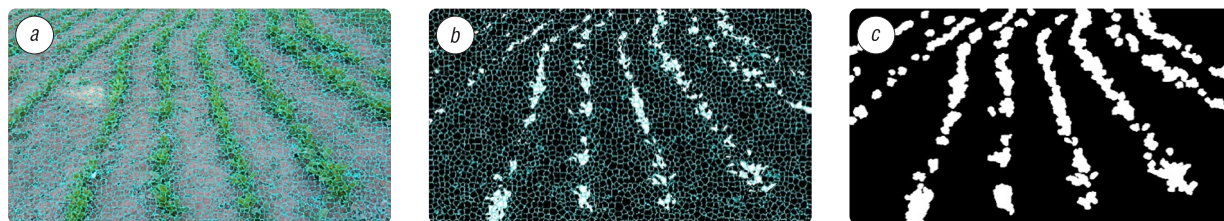


Рис. 5. Процесс бинарной сегментации предложенным методом: *a* – кластеризация входных цветных изображений на  $N$  суперпикселей; *b* – наложение границ полученных  $N$  суперпикселей на бинарное изображение, полученное на шаге 3; *c* – классификация каждого из  $N$  суперпикселей

Fig. 5. Process of binary segmentation by the proposed method: *a* - clustering of input color images into  $N$  superpixels; *b* - imposition of the boundaries of the obtained  $N$  superpixels on the binary image obtained at step 3; *c* - classification of each of the  $N$  superpixels

В приведенном примере в качестве входного изображения использовалось изображение с рис. 3, *a*. Математическое ожидание яркости пикселей по красному и зеленому цветовым каналам ставило 26.6648 и 42.3628 соответственно при пороговом значении 15. Результат предложенной автоматической бинарной сегментации, показанный на рис. 5, *c*, является сопоставимым с ручным.

После того, как предложенный метод бинарной сегментации был готов и протестирован, на основе полученных ранее видеофайлов была сгенерирована обучающая выборка, которая состояла из 1347 цветных изображений в формате \*.jpg рядков сахарной свеклы и 1347 соответствующих бинарных изображений в формате \*.png. Далее была сформирована архитектура ИНС ГО, состоящая из 10 нейронных слоев.

В результате обученная ИНС способна успешно сегментировать рядки сахарной свеклы на различных цветных изображениях, показанных на рис. 3. В приведенных изображениях полученные бинарные изображения были наложены на исходные цветные изображения, показанные на рис. 6 в виде полупрозрачного голубого тона.

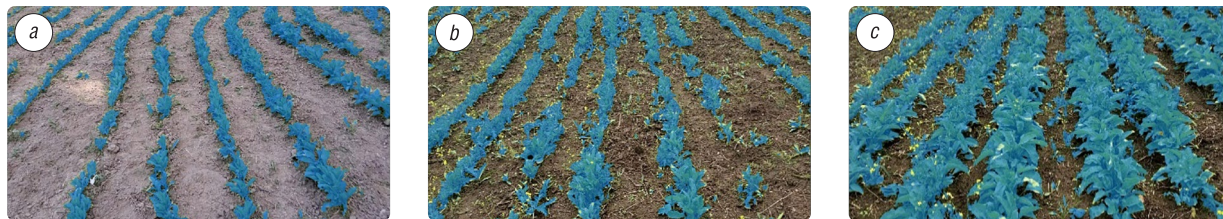


Рис. 6. Результаты работы обученной нейронной сети: *a* – пример 1; *b* – пример 2; *c* – пример 3

Fig. 6. Results of the trained neural network operation: *a* - example 1; *b* - example 2; *c* - example 3

Разработанное программное обеспечение системы автоматического управления пропашным культиватором работает на основе алгоритма Хафа, позволяющего на бинарном изображении определить вероятное расположение линий рядка (рис. 7).

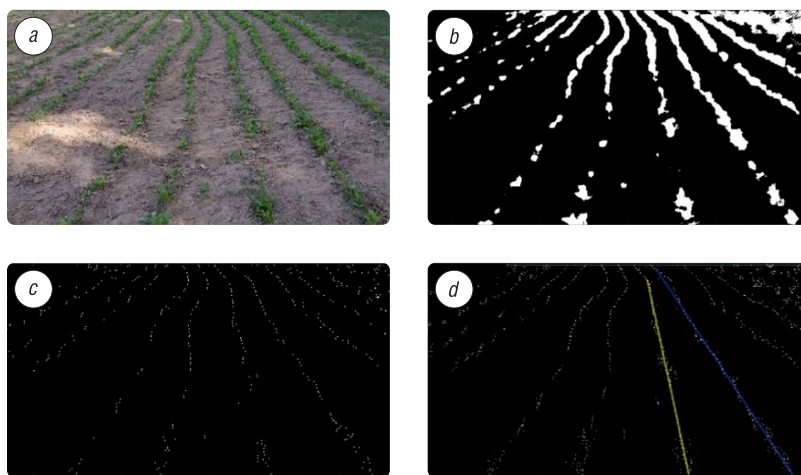


Рис. 7. Процесс выделения рядков с помощью алгоритма Хафа: *a* – исходное цветное изображение; *b* – бинарное изображение; *c* – пиксели, соответствующие всем полученным на предыдущем шаге центрам масс выявленных множеств; *d* – фильтрация полученных отрезков

Fig. 7. Process of rows selecting using the Hough algorithm: *a* - the original color image; *b* - binary image; *c* - pixels corresponding to all the centers of mass of the identified sets obtained at the previous step; *d* - filtering of the obtained segments

Определить геометрически центр рядка лишь по некоторому горизонтальному срезу любой его части будет невозможным либо результат заведомо будет содержать некоторую ошибку. Чтобы нивелировать геометрические искажения рядков свеклы, влияние разрывов между ними, а также несовпадение центра кроны листьев свеклы с расположением геометрического центра самого рядка, предлагается анализировать центр масс  $m$ -го числа последних нижних строчек последовательности сегментированных бинарных изображений, получаемых при анализе видеопотока.

Таким образом, нами был предложен алгоритм *FIFO*-буфера в виде так называемой матрицы-аккумулятора размером  $m \times n$ , где  $n$  – ширина анализируемого бинарного изображения,  $m$  – глубина аккумулятора, влияющая на величину, которую можно сравнить с инертностью смещения геометрического центра рядка.

Матрица-аккумулятор работает следующим образом. С каждым новым сегментированным кадром все строчки матрицы-аккумулятора сдвигаются вниз на одну позицию, причем самая последняя удаляется, а на место первой записывается последняя строка анализируемого кадра. В результате матрица-аккумулятор содержит в себе последовательность последних строчек сегментированных изображений длиной  $m$ .

После каждого обновления матрицы-аккумулятора следует процесс суммирования ее элементов по строчкам. В результате получается одномерный ряд значений целых чисел длиной  $n$  (рис. 8) и максимальным значением  $m = 24$ . Анализ полученного графика наводит на логический вывод, что центры полученных куполообразных участков являются максимально приближенными значениями соответствующих рядков сахарной свеклы.

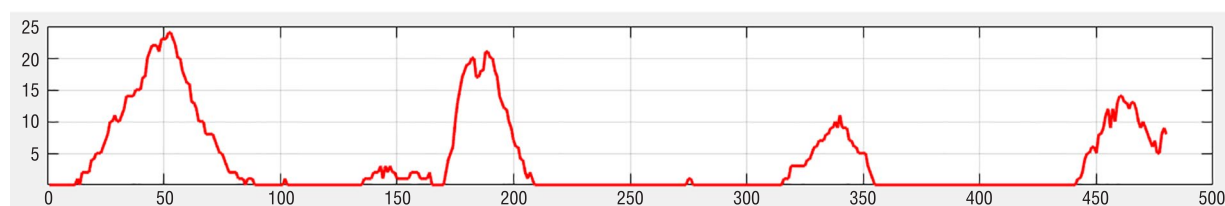


Рис. 8. Результат построчного суммирования матрицы-аккумулятора

Fig. 8. Result of row-by-row summation of the accumulator matrix

Однако анализ достаточно большого числа реальных кадров показал, что очень часто куполообразные участки графика не являются идеальными: они могут иметь различную амплитуду, а также различные локальные максимумы, которые отрицательным образом влияют не только на определение центров, но и количество потенциальных рядков.

В связи с этим было предложено воспользоваться динамически определяемым порогом среза получаемых графиков. Все локальные минимумы, которые являются выше динамического порога, причисляются к глобальным, причем они автоматически ассоциируются с потенциальными рядками.

Значение динамического порога вычисляется путем определения медианного значения отсортированных по возрастанию значений элементов графика (рис. 9).

После этого считается, что геометрические центры полученных плато являются центрами искомых рядков.

На рис. 9 вычисленные центры плато обозначены зелеными кружками, синяя линия – значения вычисленного динамического порога, желтые линии – идеальное расположение центров двух соседних рядков, между которыми должна находиться видеокамера. Таким образом, если центры рядков находятся справа от их ожидаемых расположений, то требуется подать управляющий сигнал электромеханическому узлу, чтобы он двигался в ту же сторону до того момента, пока вычисленные центры не совпадут с ожидаемыми. На главном экране есть сиреневая стрелка, которая дублирует вычисленное направление движения подвижной части культиватора.

Указанная система была успешно отлажена и протестирована на экспериментальном участке сахарной свеклы в агрегате Беларусь 102.1 + КГ-1.



Рис. 9. Проекция центров вычисленных плато на исходное изображение

Fig. 9. Projection of centers of calculated plateaus on the original image



### Выводы

1. Разработана навесная система для ориентации пропашного культиватора по рядкам и его смещения относительно трактора с помощью систем технического зрения и автоматического управления.

2. Предложена система технического зрения, способная на основе использования технологии искусственных нейронных сетей глубокого обучения четко распознавать листья сахарной свеклы, а подвижную часть культиватора направлять в требуемую сторону движения для нивелирования неточности хода трактора за счет специально разработанного алгоритма выявления центра междурядья.

3. Результаты исследований, проводимых на опытных посевах сахарной свеклы, показали, что точность отслеживания защитной зоны растений составила от  $\pm 2,0$  до  $\pm 2,3$  см. Кроме того, использование автоматической управляемой навесной системы со скоростью 7,6–7,8 км/ч в контрольных точках показало, что в защитной зоне рядка уничтожалось 91 % сорняков. Повреждаемость культурных растений в процессе исследований находилась в пределах агропуска 3 % при условии работы МТА со скоростью, не превышающей 8 км/ч. Повышение скорости МТА свыше 8 км/ч снижает качество выполнения междурядной обработки, что сказывается на числе поврежденных культурных растений.

Применение управляемого навесного устройства с трактором и орудием на основе систем технического зрения обеспечит точность и эффективность выполнения технологических операций посадки и обработки пропашных культур. Результаты настоящих исследований могут быть использованы при создании машин для возделывания сельскохозяйственных культур с автоматизированной системой управления. Использование систем технического зрения и автоматического управления культиватором позволит повысить качество междурядных обработок пропашных культур и уменьшит пестицидную нагрузку на окружающую среду.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы, подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК», задание 4.39 «Исследование точности вождения пропашных культиваторов с целью повышения качества междурядных обработок».

### Список использованных источников

1. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В.Г. Гусаков [и др.] ; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 683 с.
2. Proceedings 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed, Zaragoza, Spain, 9–11 March 2009 / Europ. Weed Research Soc. – Zaragoza : [s. n.], 2009. – 147 p.
3. Barberi, P. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? / P. Barberi // Weed Research. – 2002. – Vol. 42, № 3. – P. 177–193. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x>
4. Mechanical weed management / D.C. Cloutier [et al.] // Non-chemical weed management: principles, concepts and technology / ed.: M.K. Upadhyaya, R.E. Blackshaw. – Wallingford, 2007. – P. 111–134. <https://doi.org/10.1079/9781845932909.0000>
5. Паламарчук, В.И. Обработка междурядий с различными защитными зонами / В.И. Паламарчук // Сахар. свекла. – 1986. – № 4. – С. 28–31.
6. Ахмеров, Х.Х. Автоматизированная машина для прореживания всходов сахарной свеклы / Х.Х. Ахмеров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1984. – № 7. – С. 19–26.
7. Семичев, С.В. Анализ устройств управления траекторией движения сельскохозяйственных машин / С.В. Семичев // Инновации в сел. хоз-ве. – 2017. – № 4 (25). – С. 217–221.
8. Экологически безопасные технологии механического уничтожения сорняков в защитной зоне пропашных культур / В.П. Луценко [и др.] // Вестн. РАСХН. – 2006. – № 5. – С. 70–71.
9. Алдошин, Н.В. Исследование технологических процессов в растениеводстве при помощи методов матричного исчисления / Н.В. Алдошин // Вестн. Моск. гос. агроинженер. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 64–66.
10. Innovative strategies and machines for physical weed control in organic and integrated vegetable crops / M. Fontanelli [et al.] // Chem. Engineering Trans. – 2015. – Vol. 44. – P. 211–216. <https://doi.org/10.3303/CET1544036>
11. Судаченко, В.Н. О совершенствовании устройства для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке / В.Н. Судаченко, В.В. Козлов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства в Северо-Западной зоне России : сб. науч. тр. / Сев.-Зап. НИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва. – СПб., 2002. – Вып. 73. – С. 71–76.



12. Kunz, C. Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet – comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control / C. Kunz, J. F. Weber, R. Gerhards // *Agronomy*. – 2015. – Vol. 5, N2. – P. 130–142. <https://doi.org/10.3390/agronomy5020130>
13. Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean / C. Kunz [et al.] // *Precision Agriculture*. – 2018. – Vol. 19, N4. – P. 708–720. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9551-4>
14. Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops / M. Pérez-Ruiz [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2012. – Vol. 80. – P. 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.10.006>
15. What is the best multi-stage architecture for object recognition? / K. Jarrett [et al.] // 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision (ICCV) : proceedings, 29 Sept. – 2 Oct. 2009, Kyoto, Japan / Inst. of Electrical and Electronics Engineers. – Kyoto, 2009. – P. 2146–2153. <https://doi.org/10.1109/icc.2009.5459469>
16. Technology for automation of weed control in specialty crops / S. A. Fennimore [et al.] // *Weed Technology*. – 2016. – Vol. 30, N4. – P. 823–837. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00070.1>
17. Autonomous robots for weed control / A. Ruckelshausen [et al.] // *J. of Plant Diseases and Protection*. – 2006. – Spec. iss. 20. – P. 173–180.
18. Співвідношення регулювання та саморегулювання процесів при роботі ґрунтообробного знаряддя / В. І. Ветохін [та ін.] // Тези наукових доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої 85-річчю від дня народження академіка Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народження професора К. Г. Шиндлера / Укр. НДІ прогнозування техніки і технологій для с.-г. вир-ва. – Дослідницьке, 2019. – С. 15–16.
19. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
20. Прокопович, Г. А. Разработка системы технического зрения для сервисного мобильного робота / Г. А. Прокопович // Третий Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта», 22–23 сентября 2015 г., Иннополис, Республика Татарстан, Россия : тр. семинара / Рос. ассоц. искусств. интеллекта. – Иннополис, 2016. – С. 127–136.

## References

1. Gusakov V. G., Bel'skii V. I., Kazakevich P. P. (et al.). *Scientific farming systems of the Republic of Belarus*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).
2. *Proceedings 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed, Zaragoza, Spain, 9-11 March 2009*. Zaragoza, 2009. 147 p.
3. Barberi P. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research*, 2002, vol. 42, no. 3, pp. 177–193. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x>
4. Cloutier D. C., Van der Weide R. Y., Peruzzi A., Leblanc M. L. Mechanical weed management. *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*. Wallingford, 2007, pp. 111–134. <https://doi.org/10.1079/9781845932909.0000>
5. Palamarchuk V. I. Intertillage of row spacings with different protective zones. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], 1986, no. 4, pp. 28–31 (in Russian).
6. Akhmerov Kh. Kh. An automated machine for thinning sugar beet seedlings. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 1984, no. 7, pp. 19–26 (in Russian).
7. Semichev S. V. Analysis of trajectory control devices for agricultural machines. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve* [Innovations in Agriculture], 2017, no. 4 (25), pp. 217–221 (in Russian).
8. Lutsenko V. P., Tokarev N. A., Sokolova I. M., Nikitina T. V. Environmentally friendly technologies of mechanical weed control in the protective zone of row crops. *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2006, no. 5, pp. 70–71 (in Russian).
9. Aldoshin N. V. Research of technological processes in plant growing using the methods of matrix calculus. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta* [Bulletin of the Moscow State Agroengineering University], 2007, no. 1, pp. 64–66 (in Russian).
10. Fontanelli M., Frascioni C., Raffaelli M., Peruzzi A., Martelloni L., Pirchio M. Innovative strategies and machines for physical weed control in organic and integrated vegetable crops. *Chemical Engineering Transactions*, 2015, vol. 44, pp. 211–216. <https://doi.org/10.3303/CET1544036>
11. Sudachenko V. N., Kozlov V. V. On improving the device for tracking the protective zone of cultivated plants during inter-row cultivation. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva v Severo-Zapadnoi zone Rossii: sbornik nauchnykh trudov* [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products in the North-West zone of Russia: collection of scientific papers]. St. Petersburg, 2002, iss. 73, pp. 71–76 (in Russian).
12. Kunz C., Weber J. F., Gerhards R. Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet - comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control. *Agronomy*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 130–142. <https://doi.org/10.3390/agronomy5020130>
13. Kunz C., Weber J. F., Peteinatos G. G., Sökefeld M., Gerhards R. Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean. *Precision Agriculture*, 2018, vol. 19, no. 4, pp. 708–720. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9551-4>
14. Pérez-Ruiz M., Slaughter D. C., Gliever C. J., Upadhyaya S. K. Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, vol. 80, pp. 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.10.006>

15. Jarrett K., Kavukcuoglu K., Ranzato M., LeCun Y. What is the best multi-stage architecture for object recognition? *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision (ICCV): proceedings, 29 September - 2 October 2009, Kyoto, Japan*. Kyoto, 2009, pp. 2146–2153. <https://doi.org/10.1109/iccv.2009.5459469>
16. Fennimore S. A., Slaughter D. C., Siemens M. C., Leon R. G., Saber M. Technology for automation of weed control in specialty crops. *Weed Technology*, 2016, vol. 30, no. 4, pp. 823–837. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00070.1>
17. Ruckelshausen A., Klose R., Linz A., Marquering J., Thiel S., Tolke S. Autonomous robots for weed control. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2006, spec. iss. 20, pp. 173–180.
18. Vetokhin V. I., Bilovod O. I., Prilepo N. V., Altibaev A. N. The ratio of regulation and self-regulation of processes in the work of tillage implements. *Tezi naukovikh dopovidei KhKh Mizhnarodnoï naukovoï konferentsii «Naukovo-tekhnichni zasadi rozrobki, viprobuvannya ta prognozuvannya sil's'kogospodars'koï tekhniki i tekhnologii», prisvyachenoï 85-richchyu vid dnya narodzhennya akademika L. V. Pogorilogo ta 150-richchyu vid dnya narodzhennya profesora K. G. Shindlera* [Abstracts of scientific reports of the XIX International scientific conference «Scientific and technical principles of development, testing and forecasting of agricultural machinery and technologies», dedicated to the 85th anniversary of the birth of academician L. V. Pogorily and the 150th anniversary of the birth of professor K. G. Shindler]. Doslidnits'ke, 2019, pp. 15–16 (in Ukrainian).
19. Besekerskii V. A., Popov E. P. *Theory of automatic control systems*. 4th ed. St. Petersburg, Professiya Publ., 2003. 752 p. (in Russian).
20. Prokopovich G. A. Development of a vision system for a service mobile robot. *Tretii Vserossiiskii nauchno-prakticheskii seminar «Bespilotnye transportnye sredstva s elementami iskusstvennogo intellekta», 22–23 sentyabrya 2015 g., Innopolis, Respublika Tatarstan, Rossiya* [The third All-Russian scientific and practical seminar «Unmanned vehicles with artificial intelligence elements», September 22–23, 2015, Innopolis, the Republic of Tatarstan, Russia]. Innopolis, 2016, pp. 127–136 (in Russian).

### Информация об авторах

*Азаренко Владимир Витальевич* – член-корреспондент, доктор технических наук, доцент, академик-секретарь Отделения аграрных наук Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [azarenko@presidium.bas-net.by](mailto:azarenko@presidium.bas-net.by)

*Комлач Дмитрий Иванович* – кандидат технических наук, генеральный директор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [komlach.d@mail.ru](mailto:komlach.d@mail.ru)

*Голдыбан Виктор Владимирович* – кандидат технических наук, заведующий лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [labpotato@mail.ru](mailto:labpotato@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0002-5332-926X>

*Барановский Иван Андреевич* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [labpotato@mail.ru](mailto:labpotato@mail.ru)

*Прокопович Григорий Александрович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией робототехнических систем, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук (ул. Сурганова, 6, 220012 Минск, Республика Беларусь). E-mail: [prakapovich@newman.bas-net.by](mailto:prakapovich@newman.bas-net.by)

### Information about authors

*Vladimir V. Azarenko* - Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Assistant Professor. Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (66 Nezavisimosti Ave., Minsk 220072, Republic of Belarus). E-mail: [azarenko@presidium.bas-net.by](mailto:azarenko@presidium.bas-net.by)

*Dmitry I. Komlach* - Ph. D. (Engineering). Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization (1 Knorina Str., Minsk 220049, Republic of Belarus). E-mail: [komlach.d@mail.ru](mailto:komlach.d@mail.ru)

*Victor V. Goldyban* - Ph. D. (Engineering). Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization (1 Knorina Str., Minsk 220049, Republic of Belarus). E-mail: [labpotato@mail.ru](mailto:labpotato@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0002-5332-926X>

*Ivan A. Baranovsky* - Ph. D. (Engineering). Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization (1 Knorina Str., Minsk 220049, Republic of Belarus). E-mail: [labpotato@mail.ru](mailto:labpotato@mail.ru)

*Gregory A. Prokopovich* - Ph. D. (Engineering), Assistant Professor. The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6 Surganova Str., Minsk 220012, Republic of Belarus). E-mail: [prakapovich@newman.bas-net.by](mailto:prakapovich@newman.bas-net.by)

## ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ

### PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 664.667.022.3(470)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-243-254>

Поступила в редакцию 10.03.2021  
Received 10.03.2021

**В. А. Васькина<sup>1</sup>, Р. Х. Кандроков<sup>1</sup>, Л. Н. Хайдар-Заде<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», Москва, Россия

<sup>2</sup>Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМАРАНТОВОЙ МУКИ И СТЕНОВОГО МАТЕРИАЛА ИНКАПСУЛИРОВАННОГО ОРЕХОВОГО МАСЛА НА КАЧЕСТВО СЫРЦОВЫХ ПРЯНИКОВ

**Аннотация:** В последние годы развитие кондитерской промышленности направлено на создание изделий повышенной пищевой ценности, обогащенных макро- и микронутриентами, диетического и профилактического назначения. Одними из наиболее распространенных мучных кондитерских изделий в России являются сырцовые пряники. Цель работы – исследование влияния амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного растительного масла на качество сырцового пряника, разработка технологии и рецептуры сырцовых пряников. Установлено оптимальное соотношение смеси крахмала и амарантовой муки – 70 и 30 % соответственно. Показано, что введение амарантовой муки снижает плотность сырцового пряника до 732 кг/м<sup>3</sup>, а влажность увеличивается до 14,1 % для пряников с БПС на ИСБ, а для пряников на БПС с сывороткой – 743 кг/м<sup>3</sup> и 14,9 % соответственно. При этом органолептические показатели и структура мякиша кардинально отличаются от присущих пряничным изделиям: пористая структура мякиша, хрупкость, неправильная форма, неоднородный цвет, надрывы на поверхности пряника. Выявлено прямое влияние белкового структурного компонента оболочек в эмульсии орехового масла на органолептические показатели качества пряников (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и др.). Установлено, что влажность пряников, приготовленных по разработанной рецептуре, на 1,0–2,0 % больше, они имеют более длительный срок хранения по сравнению с традиционными изделиями. Разработаны рецептуры с высоким и низким содержанием жировой фракции и технология производства сырцовых пряников с инкапсулированным ореховым маслом. На разработанную технологию получен патент РФ № 2 734 620 «Пряник на растительных маслах и молочной сыворотке», что свидетельствует не только о научной, но и о практической ее значимости.

**Ключевые слова:** кондитерские изделия, сырцовый пряник, смесь белковых полисахаридов, изолят соевого белка, состав, сухая молочная сыворотка, мука амарантовая, крахмал, инкапсулированное ореховое масло

**Для цитирования:** Васькина, В. А. Исследование влияния амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников / В. А. Васькина, Р. Х. Кандроков, Л. Н. Хайдар-Заде // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 243–254. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-243-254>

**Valentine A. Vaskina<sup>1</sup>, Roman Kh. Kandrov<sup>1</sup>, Lolita N. Haydar-Zade<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FGBOU VO “Moscow State University of Food Production”, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

### STUDY OF IMPACT OF AMARANTH FLOUR AND WALL MATERIAL OF ENCLOSED NUT OIL ON QUALITY OF RAW GUMMY GINGERBREAD

**Abstract:** In recent years, development of confectionery industry is aimed at creating products of increased nutritional value, enriched with macro- and micronutrients, for dietary and prophylactic purposes. One of the most common flour confectionery products in Russia is raw gummy gingerbread. The aim of the research is to study the impact of amaranth flour and encapsulated vegetable oil wall material on the quality of raw gummy gingerbread, development of technology and formulations for raw gingerbread. The optimal ratio of the mixture of starch and amaranth flour has been determined, amounting to

70 and 30 %, respectively. Amaranth flour showed to reduce the density of raw gingerbread to 732 kg/m<sup>3</sup>, and moisture content increases to 14.1 % for gingerbread with BPS on IBS, and for gingerbread on BPS with whey - 743 kg/m<sup>3</sup>, and humidity increases to 14.9 %. At the same time, organoleptic characteristics and structure of the crumb are fundamentally different from those inherent in gingerbread products: porous structure of the crumb, fragility, irregular shape, uneven color, tears on the surface of gingerbread. Direct impact of protein structural component of encapsulation in the nut oil emulsion on organoleptic indicators of the gingerbread quality (taste, color, smell, appearance, shape, surface, and others) has been revealed. It has been determined that moisture content in gingerbread cooked according to the developed formulation was 1.0-2.0 % higher and they have longer shelf life compared to traditional gingerbread. Formulations with high and low fat content and technology for production of raw gingerbread with encapsulated nut butter have been developed. The developed technology received a patent of the Russian Federation No. 2 734 620 "Gingerbread with vegetable oils and milk whey", which testifies not only to its scientific, but also practical significance.

**Keywords:** confectionery, raw gingerbread, protein polysaccharide mixture, soy protein isolate, composition, whey powder, amaranth flour, starch, encapsulated nut butter

**For citation:** Vaskina V. A., Kandrov R. Kh., Haydar-Zade L. N. Study of impact of amaranth flour and wall material of enclosed nut oil on quality of raw gummy gingerbread. *Vestsi Natsyyanal'ny akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 2, pp. 243-254 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-243-254>

**Введение.** Кондитерская промышленность относится к быстроразвивающейся пищевой отрасли, где широко используются новые виды сырья, современные технологии и оборудование для производства сладкой продукции. Применение новых технологий в производстве кондитерских изделий связано со многими факторами: повышением качества изделий, увеличением их выхода и сроков годности, снижением себестоимости и производственных потерь, а также расширением ассортимента выпускаемой продукции [1–2].

В последние годы развитие отрасли направлено на создание кондитерских изделий повышенной пищевой ценности, обогащенных макро- и микронутриентами, диетического и профилактического назначения. Такое направление объединено с общей политикой пищевой промышленности по разработке продуктов, способных выровнять состав и полноценность питания для всего населения страны. Выполнение этой задачи осуществляется с помощью применения новых нетрадиционных видов сырья, обладающих необходимыми характеристиками для производства кондитерских изделий [2–6]. Все эти факторы формируют основу для разработки новейших технологий и рецептур изделий, а в будущем и создание модернизированных технологических линий.

Среди мучных изделий особой популярностью пользуются сырцовые пряники, которые относятся к высококалорийным продуктам питания [7]. В них содержится много сахара и жира, которые формируют реологические свойства теста, а также структуру и вкус готового изделия. Основным недостатком в производстве пряников является использование твердых жиров (маргарина, кондитерского жира, сливочного масла), в составе которых содержатся насыщенные и транс-изомеры жирных кислот. Эти кислоты вырабатываются естественным образом в процессе биогидрирования в организме жвачных животных (сливочное масло) или в результате гидрирования жидких растительных масел (маргарина, кондитерского жира). Присутствие транс-изомеров жирных кислот в пряниках оказывает отрицательное влияние на организм. Такие изделия запрещены больным сахарным диабетом для употребления. Также не рекомендуется употребление мучных кондитерских изделий и для лиц, страдающих болезнью целиакией.

Снижение количества насыщенных жирных кислот и транс-изомеров жирных кислот в рационе человека – это общемировая проблема, которая в разных странах разрешается своими способами. Многие зарубежные ученые практикуют разнообразные технологии введения жидких растительных масел в продукты питания. Исследования канадских ученых по использованию структурированных пищевых масел (олеогели) признаны наиболее перспективными и универсальными при замене твердых жиров в пищевых продуктах [8]. Данная разработка позволяет структурировать растительные масла и получать олеогели с уникальными свойствами, аналогичными твердым жирам в изделии, что отвечает разнообразным физическим свойствам, включая термическое поведение, механическую прочность и реологию [9, 10]. Вследствие этого олеогели производятся со свойствами, подобными жиру, замена которого производится в продукте питания. Помимо замещения твердых жиров концепция олеогелирования позволяет разрешить проблемы миграции масла в продуктах, а также защиты и доставки гидрофобных молекул [11, 12].



Другое направление разработано американскими учеными – инкапсуляция жидких растительных масел в стеновой материал (оболочки) из белок-полисахаридных смесей (БПС), которая имеет определенные преимущества в технологии, связанные с экологически чистыми ингредиентами, простотой процесса эмульгирования, образованием более мелких капель масла и мягким гелеобразованием в сплошной среде [13]. В эмульсионных гелях на основе БПС, в качестве белка наиболее часто применяется изолят белка молочной сыворотки (ИБМ) или изолят соевого белка (ИСБ). Кроме того, данная технология позволяет использовать различные белки и полисахариды в качестве эмульгаторов для повышения эффективности инкапсуляции жидких растительных масел [14, 15].

Различные по природе белки и их свойства (растворимость, амфотерность) оказывают влияние на их взаимодействие с полисахаридами [16]. Изолят белка молочной сыворотки является наиболее широко используемым эмульгатором в эмульсионных гелях, а изолят белка сои только начинает пробуждать все больший интерес по причине его хороших эмульгирующих и гелеобразующих свойств. Так, ИБМ содержит больше положительно заряженных аминокислот, чем ИСБ при pH, равной 7,0, однако ИСБ включает больше полярных аминокислот, чем ИБМ [17–20]. Кроме того, ИБМ обладает более высокой растворимостью и гидрофобностью поверхности, чем ИСБ [21]. Растворимость белка влияет на взаимодействия белок–вода, а гидрофобность поверхности влияет на взаимодействия белок–масло на поверхности капель [22]. Тем не менее использование в БПС различных по природе белков, таких как изолят соевого белка и изолят белка молочной сыворотки, по-разному воздействует на свойства эмульсионных гелей и качество конечного изделия, что редко изучалось [23].

Жидкие растительные масла и вегетарианские белки имеют высокую коммерческую стоимость для кондитерской отрасли при создании изделий для здорового питания [25, 26]. Замена твердых жиров растительными маслами в технологии сырцовых пряников является чрезвычайно сложной задачей. Поведение твердых жиров и жидких масел в тесте для мучных изделий значительно различается. Так, в процессе замеса теста частицы животного жира сначала разделяются на мельчайшие капельки, способствуя образованию пленок. Затем тончайшие пленки жира концентрируются на поверхности частичек муки, как бы обволакивая и смазывая их. При замесе теста для мучных изделий капли жидкого растительного масла локализуются в виде крупных шариков, которые не окутывают частички муки и не удерживаются в тесте, а при хранении выделяются из готовых изделий [17]. По этой причине жидкие растительные масла используются в технологии пряников ограниченно или в малых количествах, их предварительно смешивают с маргарином в жировую смесь. Как правило, это количество масла незначительное – 5–7 % от массы основного твердого жирового компонента [7].

Существует проблема полной замены твердых жиров в рецептуре пряников жидкими растительными маслами (подсолнечное, ореховое, кунжутное, рапсовое, льняное), сложность которой заключается в потенциальной механической и химической несовместимости добавки и матрицы. Кроме того, растительные масла крайне чувствительны к высокой температуре, кислороду, свету и имеют температуру кристаллизации при отрицательных значениях от  $-2$  до  $-20$  °C [26, 27], что ограничивает их применение в производстве мучных изделий. При этом сложно сохранить традиционную структуру пряника и избежать процессов деградации полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), содержащихся в растительных маслах. Несовместимость проявляется в вытекании растительного масла из теста и готовых пряников даже при малой их концентрации в изделии, если не приняты дополнительные меры по связыванию и/или предотвращению непосредственного взаимодействия веществ матрицы и добавки.

В данной работе изучена возможность полной замены маргарина ореховым маслом в производстве сырцовых пряников. Инкапсуляцию орехового масла проводили в стеновой материал на основе БПС. Проведено сравнительное исследование влияния белков сои и молочной сыворотки в составе стенового материала на свойства эмульсионных гелей и на качество пряников. Ранее авторами проводились исследования по влиянию белок-полисахаридных смесей на инкапсуляцию жидких растительных масел для получения таких кондитерских изделий, как кремы для тортов и пирожных, мягкая карамель, мягкий грильяж [28–30].

Цель работы – проведение сравнительного исследования влияния амарантовой муки и природы белка в стеновом материале инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников с последующей разработкой новой технологии и рецептуры изделия.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили на кафедре зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств и на кафедре «Пищевая технология» Бухарского инженерно-технологического института в 2020 г. На кафедре зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий исследовали влияние добавок амарантовой муки и инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников, приготовленных по разработанной технологии и влияние амарантовой муки и стенового материала капсулированного орехового масла на органолептические показатели качества пряников (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и др.). На кафедре «Пищевая технология» провели исследования по определению пищевой и энергетической ценности традиционных сырцовых пряников и пряников на соевом и сывороточном БПС по разработанной рецептуре.

При проведении исследований использовали следующие сырье и материалы: вода питьевая, мука пшеничная высшего сорта, сахар белый, патока, маргарин, химические разрыхлители. Сырье, используемое для проведения исследований, соответствует требованиям нормативно-технической документации, представленной в табл. 1.

При проведении исследований использовали следующие методы: метод определения влаги (определение массовой доли сухих веществ пряников производили на влагомере ПИВИ); метод определения плотности, основанный на измерении объема индикатора, вытесненного погруженным в него лабораторной пробой; метод определения кислотности, основанный на титровании исследуемого раствора гидроксидом натрия (гидроксид калия) или кислоты в концентрации с NaOH, KOH,  $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$  и с HCl = 0,1 моль/дм<sup>3</sup> в присутствии двух электродов (индикаторного и электрода сравнения).

Т а б л и ц а 1. Перечень нормативно-технической документации для оценки качества сырья и материалов, используемых при проведении исследований

Table 1. List of regulatory and technical documentation for assessing the quality of raw materials and materials used in research

Вид сырья	Нормативная документация	Вид сырья	Нормативная документация
Мука пшеничная, высший сорт	ГОСТ 26574–2017	Масло ореховое	ГОСТ 30306–95
Мука амарантовая	ГОСТ 28636–90	Альгинат натрия	ГОСТ 33310–2015
Сахар белый	ГОСТ 33222–2015	КМЦ	ГОСТ 33310–2015
Патока	ГОСТ 33917–2016	Пектин	ГОСТ 29186–91
Крахмал кукурузный	ГОСТ 32159–2013	Сыворотка молочная сухая	ГОСТ 33958–2016
Крахмал картофельный	ГОСТ Р 53876–2010	Изолят соевого белка	ГОСТ Р 53861–2010
Маргарин	ГОСТ 32188–2013	Химические разрыхлители	ГОСТ 2156–76

Для уменьшения погрешности измерений проводили два параллельных опыта, результаты вычисляли до второго десятичного знака и округляли до первого. Окончательным результатом принимали среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений, расхождения между которыми должно быть меньше 0,2 градуса. Предел допускаемых значений погрешности измерения – 0,1 градуса ( $P = 0,95$ ).

**Результаты и их обсуждение.** На первом этапе исследовали влияние добавок амарантовой муки и инкапсулированного грецкого орехового масла на качество сырцовых пряников, приготовленных по разработанной технологии. В качестве стенового материала для капсулирования орехового масла использовали белок-полисахаридные смеси (БПС), в которых белком служили изолят белка сои (ИБС) или сухая молочная сыворотка (СМС), а полисахаридами – смесь из альгината натрия, пектина, натрий карбоксиметилцеллюлозы.

В рецептуру опытных пряников взамен пшеничной муки вводили безглютеновую смесь, состоящую из амарантовой муки и крахмала. В безглютеновой смеси доля амарантовой муки составляла в количестве 30, 40, 50 %, остальное крахмал. В качестве контроля служил пряник,

приготовленный по традиционной рецептуре на пшеничной муке. Полученные экспериментальные данные по плотности пряника в зависимости от доли введенной амарантовой муки и вида белка в стеновом материале капсулированного орехового масла представлены на рис. 1.

На рис. 1 видно, что плотность контрольного пряника, приготовленного с применением пшеничной муки по традиционной технологии, составляет  $788 \text{ кг/м}^3$ . Наибольшее снижение плотности пряника до  $732 \text{ кг/м}^3$  наблюдается при введении безглютеновой смеси, в которой доля амарантовой муки составляет 30 %, а в стеновом материале в качестве белка используется изолят белка сои (ИБС). Замена белка в стеновом материале на сухую молочную сыворотку (СМС) позволяет незначительно повысить плотность пряника до  $743 \text{ кг/м}^3$ . Увеличение доли амарантовой муки до 40 % позволяет повысить плотность сырцовых пряников до  $753 \text{ кг/м}^3$  при применении в стеновом материале ИСБ, и до  $805 \text{ кг/м}^3$  при применении СМС. Дальнейшее повышение доли амарантовой муки до 50 % обеспечивает рост плотности пряника до  $845 \text{ кг/м}^3$  при употреблении в стеновом материале СМС и до  $987 \text{ кг/м}^3$  – ИСБ. Следовательно, введение амарантовой муки в количестве 30–40 % не оказывает большого воздействия на плотность пряника, значения которых находятся близко к контролю. Это напрямую подтверждает предположение о полном замещении клейковины пшеничной муки белками амарантовой муки и протеинами стенового материала, независимо от природы белка. Повышение доли амарантовой муки до 50 % обнаруживает большее влияние на плотность пряника белков ИСБ, чем СМС.

Влажность контрольного пряника, приготовленного по традиционной технологии, составляет 13,9 % (рис. 2). Наибольшее повышение влажности пряника до 14,9 % наблюдается при введении безглютеновой смеси, в которой доля амарантовой муки составляет 30 %, а в стеновом материале в качестве белка используется ИБС. Применение СМС взамен ИБС приводит к снижению влажности пряника до 14,1 %. Увеличение доли амарантовой муки до 50 % приводит к снижению влажности пряника до 14,2 % при употреблении в стеновом материале ИСБ, а СМС обеспечивает повышение влажности до 16,7 %. Таким образом, амарантовая мука в количестве 30–40 % не оказывает значительного влияния на влажность пряника, значения которых близки к контролю. Повышение доли амарантовой муки до 50 % обнаруживает большее влияние СМС на влажность пряника, чем ИСБ. Таким образом, сравнение ИСБ и СМС как важнейших белковых компонентов стенового материала и оценка их влияния на плотность и влажность пряников, то однозначно подтверждает, что белки молочной сыворотки более эффективны, чем соевый белок.

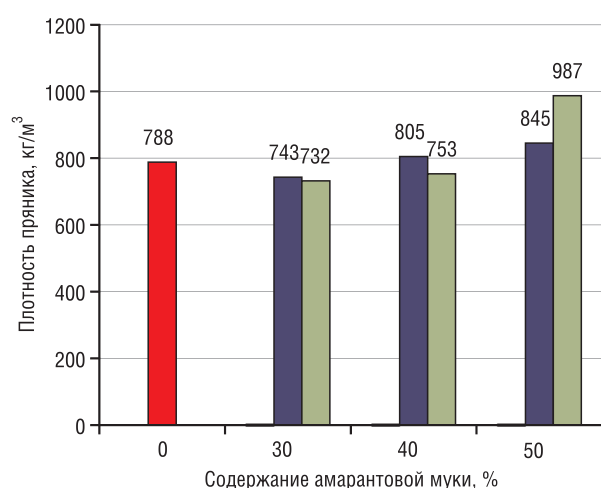


Рис. 1. Зависимость плотности пряника от содержания амарантовой муки и вида стенового материала капсулированного орехового масла на основе молочной сыворотки (синий цвет) и изолята соевого белка (зеленый цвет), приготовленных по новой технологии

Fig. 1. Correlation of the density of gummy gingerbread with amaranth flour additives and wall material type of encapsulated nut butter based on milk whey (blue) and soy protein isolate (green) prepared according to new technology

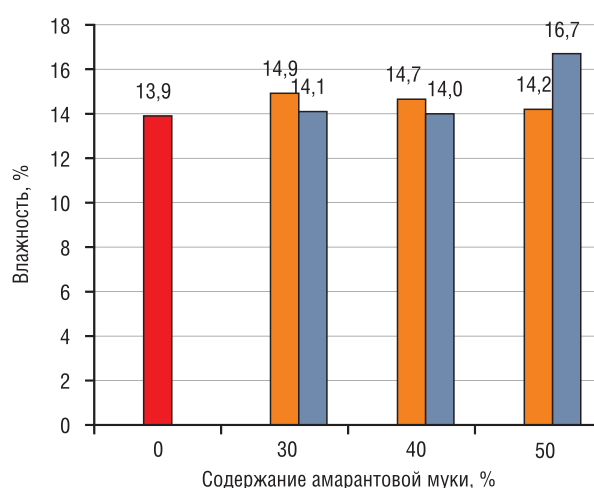


Рис. 2. Влияние содержания амарантовой муки на влажность пряника, приготовленного по новой технологии с использованием орехового масла в оболочках из БПС на основе изолята соевого белка (оранжевый цвет) и молочной сыворотки (синий цвет)

Fig. 2. Impact of amaranth flour on moisture content in gummy gingerbread prepared according to new technology using nut butter encapsulated in BPS based on soy protein isolate (orange) and milk whey (blue)

Таблица 2. Органолептическая оценка пряников «Новые» по разработанной рецептуре

Table 2. Organoleptic evaluation of “New” gummy gingerbreads according to the developed recipe

Показатели качества изделия	Коэффициент значимости показателя	Число степеней качества	Оценка, баллы
Форма	1	1–3	1–3
Цвет и внешний вид	2	1–3	2–6
Структура и консистенция	3	1–3	3–9
Вкус и аромат	4	1–3	4–12
Суммарная оценка	Σ 10–30		

балльной шкале. Результаты органолептической оценки пряников представлены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показал, что пряники, приготовленные по новой рецептуре с добавлением амарантовой муки в количестве 50 %, инкапсулированного растительного масла и БПС, получили высокую оценку по органолептическим показателям потенциальными потребителями. Внешний вид опытных образцов и контрольного образца сырцовых пряников представлен на рис. 4.

На дегустацию были предложены опытные образцы пряников, приготовленные по новой технологии, с различным содержанием жира – 4,8 и 11,7 %. Большое содержание жира оказывает влияние на все технологические стадии, начиная с инкапсуляции орехового масла белок-полисахаридной смесью, затем на приготовление эмульсии и теста, продолжительность выпечки, качество готового продукта и органолептические свойства. Внешний вид опытных образцов сырцовых пряников представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид сырцовых пряников, приготовленных с БПС, по разработанной рецептуре с пониженным содержанием жира 4,8 % (1–3) и с повышенным содержанием жира 11,7 % (4–6)

Fig. 3. Appearance of raw gummy gingerbread cooked with BPS, according to the developed formulation with reduced fat content of 4.8 % (1–3) and with increased fat level 11.7 % (4–6)

Данные табл. 2 показывают, что пряники, изготовленные по новой технологии с использованием амарантовой муки и капсулированного растительного масла, получили высокую оценку по органолептическим показателям потенциальными потребителями. Пряники с более высоким содержанием жира отличались более темной окраской поверхности, выраженным вкусом и ароматом, а также гладкой, слегка шероховатой поверхностью. Такие изменения органолептических свойств можно объяснить более интенсивным протеканием реакции Майяра, которая началась в процессе капсулирования растительного масла в горячий сахаро-белок-полисахаридный сироп, затем продолжилась при выпечке готового изделия.

На втором этапе исследовали влияние амарантовой муки и стенового материала капсулированного орехового масла на органолептические показатели качества пряников (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и др.).

Для органолептической оценки были приготовлены два вида пряников по новой технологии, которые различались натурой белковой составляющей БПС (ИСБ и СМС) для капсулирования орехового масла. Приготовленные опытные образцы были предложены потенциальным потребителям для дегустации и оценки органолептических показателей по пяти-



Таким образом, введение амарантовой муки и инкапсулированного орехового масла с оболочкой на основе различных источников белка оказывает положительное влияние на органолептические свойства сырцовых пряников, улучшая их цвет, запах и вкус.

На третьем этапе (заключительном) разработаны рецептура и технология производства сырцовых пряников с инкапсулированным ореховым маслом и амарантовой мукой. С целью успешного обогащения рецептуры сырцовых пряников амарантовой мукой и ореховым маслом были необходимы изменения в существующую технологию производства. Принципиальные изменения касались начальных этапов приготовления пряников (приготовление БПС, сиропа и эмульсии).

Наиболее значимое отличие – это уменьшение насыщенных жирных кислот и увеличение содержания поли- и мононенасыщенных жирных кислот. В 100 г маргарина может содержаться до 40 г насыщенных жирных кислот, в том числе лауриновая, миристиновая, пальмитиновая, лигноцериновая и стеариновая.

Для приготовления БПС вначале взвешивали каждый из трех полисахаридов и белки (ИСБ или СМС), затем отмеряли воду, согласно рецептуре, и загружали компоненты в расходную емкость. Смесь набухала в течение 30–60 мин при температуре 60–80 °С. После этого набухший БПС использовали.

Затем готовили сироп из сахара, патоки и набухшего раствора БПС. Рецептурную смесь сиропа нагревали до 100–105 °С и уваривали в течение 2–3 мин. В полученный сироп при постоянном нагревании и перемешивании вводится тонкой струей ореховое масло для получения стойкой и не расслаивающейся эмульсии. Затем эмульсию охлаждали до температуры 30–40 °С и добавляли предварительно растворенные в воде химические разрыхлители, эссенцию и другие добавки. В последнюю очередь для получения теста загружали амарантовую муку со смесью крахмалов в соотношении 30:70. Замес теста проводили в течение 7–10 мин до достижения однородной, упругой структуры теста. Полученное тесто направляли в формующую машину для формования тестовых заготовок пряников. Затем отформованные тестовые заготовки пряников отправляли на выпечку.

Пряники выпекали в течение 10–15 мин при температуре 200–220 °С. После выпечки их охлаждали до температуры 50–55 °С в течение 20–22 мин. Затем пряники глазировали горячим сахарным сиропом с температурой 90–95 °С, уваренным до содержания сухих веществ 77–78 %. Глазированные пряники выдерживали в сушильной камере при температуре 60 °С в течение 6–8 мин. На конечном этапе пряники фасовали в коробки или пачки из коробочного картона.

Технологическая схема производства пряников по разработанной технологии с использованием амарантовой муки и капсулированного орехового масла в оболочках из БПС представлена на рис. 4.

Опытные сырцовые пряники являются продуктом функциональным и с повышенной пищевой ценностью. Это достигается введением в рецептуру амарантовой муки, растительного масла и БПС. Был проведен подсчет пищевой и энергетической ценности опытных пряников по сравнению с традиционными для доказательства их потенциального функционального, профилактического

**Таблица 3. Пищевая и энергетическая ценность традиционных сырцовых пряников и пряников на соевом и сывороточном БПС по разработанной рецептуре**

**Table 3. Nutritional and energy value of traditional raw gummy gingerbreads and gingerbreads based on soy and whey BPS according to the developed formulation**

Показатель	Содержание в 100 г продукта		
	контроль	соевый БПС	сывороточный БПС
Белки, %	7,0	13,4	10,6
Жиры, %	12,8	13,1	13,1
Углеводы, %	65,9	73,3	73,3
Минеральные вещества, мг/100 г:			
кальций	15,0	38,0	38,0
медь	112,9	125,7	125,7
магний	27,6	59,40	59,40
марганец	0,690	0,832	0,832
фосфор	72,1	133,4	133,4
калий	53,3	123,51	123,51
железо	1,3	1,90	1,90
Витамины, мкг:			
В1	0,150	0,270	0,270
холин	47,7	32,8	32,8
В5	0,310	0,35	0,35
В6	0,130	0,157	0,157
В9	22,27	19,73	19,73
Е	3,57	10,9	10,9
Полиненасыщенные жирные кислоты, г/100 г:			
омега-6	3,25;	6,41;	6,41;
омега-3	0,00	1,46	1,46
Клетчатка, г	2,4	8,7	8,7
Энергетическая ценность, ккал	390,4	446,4	435,2

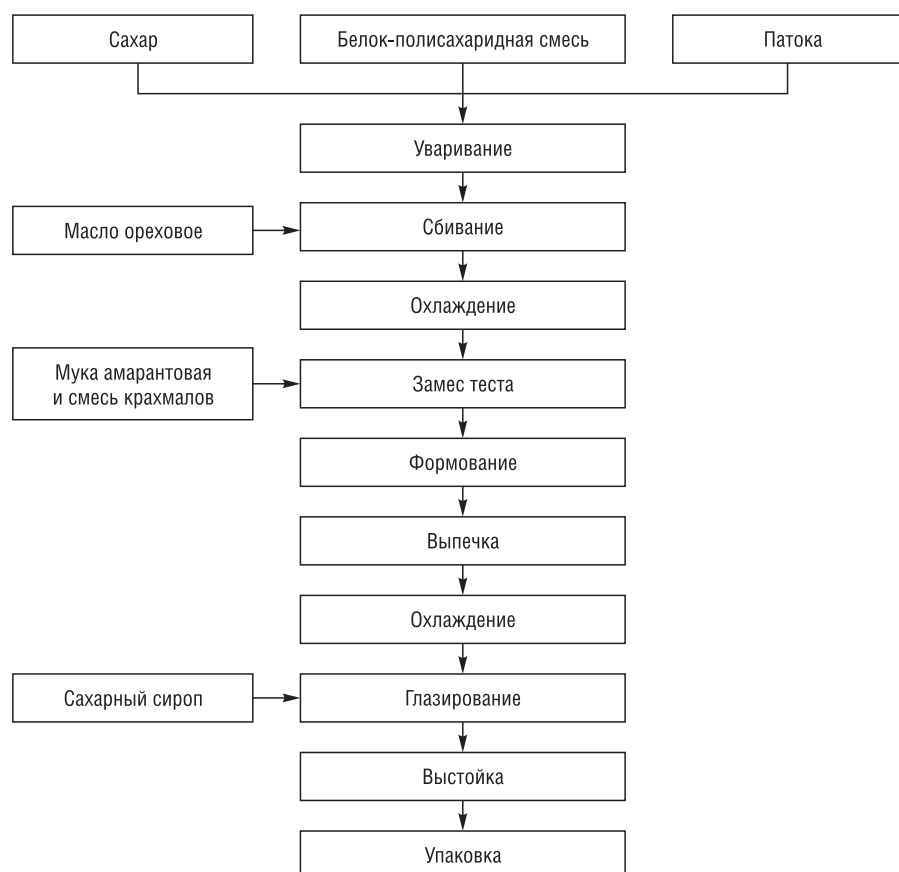


Рис. 4. Технологическая схема приготовления сырцовых пряников с использованием БПС, амарантовой муки и жидкого орехового масла

Fig. 4. Technological layout for preparation of raw gummy gingerbread using BPS, amaranth flour and liquid nut butter

действия. Сравнение проводили для пряников, приготовленных по двум рецептурам с использованием ИСБ и СМС в составе оболочек инкапсулированного орехового масла. Калорийность обоих опытных образцов увеличилась в среднем на 15–25 ккал за счет увеличения содержания белка в сырцовых пряниках на 70 % при использовании ИСБ и на 35 % при использовании БПС.

Опытные образцы пряников на БПС значительно превосходили традиционные по содержанию белка, минеральных веществ и клетчатки. Этому способствовало введение в рецептуру амарантовой муки, отличающейся высоким содержанием белка и минеральных веществ. Однако дополнительный белок вносили с БПС. Повышенное содержание белка сказывается на калорийности пряников, которая возрастает по сравнению с традиционными без БПС.

Аминокислотный состав белков пряника улучшился преимущественно за счет внесения белков амаранта, отличающегося от пшеничных белков по содержанию незаменимых аминокислот. Сравнение аминокислотного состава белков пшеничной и амарантовой муки представлено в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Содержание незаменимых аминокислот в пшеничной и амарантовой муке, г в 100 г муки  
Table 4. Level of essential amino acids in wheat and amaranth flour, g per 100 g flour

Аминокислота	Мука		Аминокислота	Мука	
	амарантовая	пшеничная		амарантовая	пшеничная
Аргинин	1,060	0,474	Лизин	0,747	0,270
Валин	0,679	0,477	Метионин	0,226	0,163
Гистидин	0,389	0,223	Треонин	0,558	0,296
Изолейцин	0,582	0,388	Триптофан	0,181	0,130
Лейцин	0,879	0,737	Фенилаланин	0,542	0,506

За счет введения амарантовой муки и белков в составе БПС (изолята соевого белка и молочной сыворотки) в пряниках увеличилось содержание незаменимых аминокислот, так как эти белки являются полноценными. Большая доля всех белков приходится на белки амаранта.

Наиболее значимое отличие – это уменьшение насыщенных жирных кислот и увеличение содержания полиненасыщенных и мононенасыщенных жирных кислот. В 100 г маргарина может содержаться до 40 г насыщенных жирных кислот, в том числе лауриновая, миристиновая, пальмитиновая, лигноцериновая и стеариновая.

В эксперименте в качестве замены маргарина применялось рафинированное ореховое масло. В 100 г орехового масла содержится до 11 г насыщенных жирных кислот, что значительно ниже, чем в маргарине. При этом, если использовать нерафинированное растительное масло других масличных или ореховых культур, то этот показатель можно снизить и увеличить количество ненасыщенных жирных кислот.

Витаминный состав изменяется не столь значительно по сравнению с другими показателями. Вместе с тем наблюдается увеличение содержания витаминов группы В и значительное увеличение содержания витамина Е. Кроме того, происходит увеличение содержания других жирорастворимых витаминов А, D, К, но для данного вида масла это количество незначительно. Однако при использовании иного вида нерафинированного масла содержание этих витаминов будет значительно выше.

### Выводы

1. В результате проведенных исследований получены новые научные данные, имеющие прикладное значение и промышленную применимость о пищевой и энергетической ценности сырцовых пряников, выработанных с использованием инкапсулированного орехового масла в оболочках из белок-полисахаридных смесей (БПС), в которых белком служили изолят белка сои (ИБС) или сухая молочная сыворотка (СМС).

2. Установлено взаимодействие амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного растительного масла в тесте и их влияние на качество сырцовых пряников. Выявлено, что пшеничную муку можно полностью заменить амарантовой мукой и смесью крахмалов при их соотношении 30 : 70 при замесе теста для сырцовых пряников, что обеспечивает получение безглютенового продукта.

3. Исследования по влиянию инкапсулированного растительного масла на качество сырцовых пряников показали, что 100 % замена пшеничной муки на смесь кукурузного и картофельного крахмала существенно снижает плотность ( $529 \text{ кг/м}^3$ ) и влажность (8,9 %) готовых пряников.

4. Выяснено влияние природы белка в составе стенового материала для инкапсуляции орехового масла на показатели качества пряника. Наличие ИБС в составе стенового материала приводит к существенному снижению плотности пряника ( $732 \text{ кг/м}^3$ ) при влажности (14,1 %), а присутствие СМС в составе БПС – к повышению влажности пряника (14,9 %) при плотности ( $743 \text{ кг/м}^3$ ). Белки СМС проявляют лучшую растворимость в воде и более сильные взаимодействия с полисахаридами, чем ИБС, что обеспечивает лучшие влагоудерживающую способность продукта.

5. Обнаружено прямое влияние природы белка в составе стенового материала оболочек орехового масла на органолептические показатели качества сырцовых пряников (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и др.). Вероятно, наличие в составе СМС дополнительно лактозы обеспечивает улучшение вкуса, цвета и запаха пряников.

6. Разработаны рецептуры и технология производства сырцовых пряников с высоким и низким содержанием жировой фракции. На разработанную технологию получен патент РФ № 2734620 «Пряник на растительных маслах и молочной сыворотке», что свидетельствует не только о научной, но и о практической ее значимости.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Русская Олива» к.б.н., доценту Л. А. Мирошниченко за предоставленные образцы амарантовой муки.

## Список использованных источников

1. Тенденция развития технологии кондитерских изделий / З. А. Канарская [и др.] // Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий. – 2016. – № 3 (69). – С. 195–204. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-195-204>
2. Новые сорта хлебобулочных и мучных кондитерских изделий диабетического назначения / Ю. Ф. Росляков [и др.] // Науч. тр. КубГТУ. – 2015. – № 2. – С. 226–231.
3. Санжаровская, Н. С. Использование нетрадиционного сырья в технологии сырцовых пряников / Н. С. Санжаровская, Н. В. Сокол, О. П. Храпко // Вестн. КрасГАУ. – 2018. – № 1. – С. 147–153.
4. Фахретдинова, Д. Р. Использование амарантовой муки и молочной сыворотки для обогащения мучных кондитерских изделий / Д. Р. Фахретдинова, А. А. Нигматьянов, И. В. Миронова // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2017. – № 4 (66). – С. 260–262.
5. Natural sweeteners: health benefits of stevia / S. Gandhi [et al.] // Foods a. Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, N 2. – P. 392–402. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-392-402>.
6. Лазарева, Т. Н. Оценка качества пряников, выработанных с применением лекарственно-технического сырья / Т. Н. Лазарева, С. Я. Корякина // Хлебопродукты. – 2016. – № 5. – С. 54–56.
7. Мошканова, И. А. Современное производство пряников / И. А. Мошканова, Е. С. Новожилова, В. А. Васькина // Кондитер. и хлебопекар. пр-во. – 2017. – № 1–2 (169). – С. 44–47.
8. Gravelle, A. J. Ethylcellulose oleogels: structure, functionality, and food applications / A. J. Gravelle, A. G. Marangoni // Advances in Food a. Nutrition Research. – 2018. – Vol. 84. – P. 1–56. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.002>
9. Kouzounis, D. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with monoglycerides and phytosterols in frankfurter sausages / D. Kouzounis, A. Lazarido, E. Katsanidis // Meat Science. – 2017. – Vol. 130. – P. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.004>
10. Tanti, R. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams / R. Tanti, S. Barbut, A. G. Marangoni // Food Hydrocolloids. – 2016. – Vol. 61. – P. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.032>
11. Mattice, K. D. Oleogels in food / K. D. Mattice, A. G. Marangoni // Encyclopedia of food chemistry / ed.: L. Melton, F. Shahidi, P. Varelis. – Amsterdam, 2019. – Vol. 2. – P. 255–260. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21662-4>
12. O'Sullivan, C. M. Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: Composition and structural design considerations / C. M. O'Sullivan, S. Barbut, A. G. Marangoni // Trends in Food Science & Technology. – 2016. – Vol. 57. – P. 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
13. Design principles of oil-in-water emulsions with functionalized interfaces: Mixed, multilayer, and covalent complex structures / M. Li [et al.] // Comprehensive Rev. in Food Science a. Food Safety. – 2020. – Vol. 19, N 6. – P. 3159–3190. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12622>
14. Preparation and characterization of emulsion-filled gel beads for the encapsulation and protection of resveratrol and  $\alpha$ -tocopherol / W. Feng [et al.] // Food Research Intern. – 2018. – Vol. 108. – P. 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.035>
15. Highly efficient encapsulation of linseed oil into alginate/lupin protein beads: Optimization of the emulsion formulation / J. A. Piornos [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2016. – Vol. 63. – P. 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.031>
16. Interactions of vegetable proteins with other polymers: Structure-function relationships and applications in the food industry / D. Lin [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2017. – Vol. 68. – P. 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
17. Tang, C.-H. Emulsifying properties of soy proteins: A critical review with emphasis on the role of conformational flexibility / C.-H. Tang // Crit. Rev. in Food Science a. Nutrition. – 2017. – Vol. 57, N 12. – P. 2636–2679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067594>
18. Molecular mechanism for improving emulsification efficiency of soy glycinin by glycation with soy soluble polysaccharide / X.-Q. Peng [et al.] // J. of Agr. a. Food Chemistry. – 2018. – Vol. 66, № 46. – P. 12316–12326. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03398>
19. Relationship between molecular flexibility and emulsifying properties of soy protein isolate-glucose conjugates / R. Li [et al.] // J. of Agr. a. Food Chemistry. – 2019. – Vol. 67, N 14. – P. 4089–4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06713>
20. A study of structural change during in vitro digestion of heated soy protein isolates / T. Tian [et al.] // Foods. – 2019. – Vol. 8, № 12. – Art. 594. <https://doi.org/10.3390/foods8120594>
21. Voutsinas, L. P. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins / L. P. Voutsinas, E. Cheung, S. Nakai // J. of Food Science. – 1983. – Vol. 48, N 1. – P. 26–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14781.x>
22. Pelegri, D. H. G. Whey proteins solubility as function of temperature and pH / D. H. G. Pelegri, C. A. Gasparetto // LWT-Food Science a. Technology. – 2005. – Vol. 38, N 1. – P. 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.013>
23. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel / A. M. Leon [et al.] // Food Science a. Technology Intern. – 2018. – Vol. 24, N 5. – P. 414–423. <https://doi.org/10.1177/1082013218762210>
24. Li, D. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security / D. Li // Trends in Food Science & Technology. – 2013. – Vol. 32, N 1. – P. 25–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
25. Ghazani, M. S. Healthy fats and oils / M. S. Ghazani, A. G. Marangoni // Encyclopedia of food grains / ed.: C. Wrigley [et al.]. – 2nd ed. – Oxford, 2016. – P. 257–267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>
26. Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsion / R. Bou [et al.] // Europ. J. of Lipid Science a. Technology. – 2011. – Vol. 113, N 6. – P. 724–729. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000524>



27. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée / Shi J. [et al.] // *Food Control*. – 2008. – Vol. 19, N 5. – P. 514–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>
28. Васькина, В. А. Использование молочной сыворотки для создания в креме эмульсионно-пенной структуры / В. А. Васькина, А. А. Двоглазова // *Пищевая индустрия*. – 2019. – № 2 (40). – С. 26–29.
29. Монастырский, В. Е. Использование инкапсулированного растительного масла в производстве молочных конфет / В. Е. Монастырский, В. А. Васькина // *Кондитер. и хлебопекар. пр-во*. – 2018. – № 9–10 (178). – С. 62–64.
30. Васькина, В. А. Увеличение срока годности и качества конфет с фруктово-грильяжным корпусом / В. А. Васькина, С. В. Бабарыкина, Ю. Ю. Панченко // *Кондитер. и хлебопекар. пр-во*. – 2018. – № 3–4 (175). – С. 20–22.

## References

1. Kanarskaya Z. A., Khuzin F. K., Ivleva A. R., Gematdinova V. M. Trends in the development of confectionery technology. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2016, no. 3 (69), pp. 195-204 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-195-204>
2. Roslyakov Yu. F., Kochetov V. K., Vershinina O. L., Gonchar V. V. Use of crop topinambur powder in technology bakers products. *Nauchnye trudy KubGTU = Scientific works of KubSTU*, 2015, no. 2, pp. 226-231 (in Russian).
3. Sanzharovskaya N. S., Sokol N. V., Khrapko O. P. The use of non-traditional raw materials in raw gingerbread technology. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasSAU*, 2018, no. 1 (136), pp. 147-154 (in Russian).
4. Fakhretdinova D. R., Nigmat'yanov A. A., Mironova I. V. The use of amaranth flour and whey to enrich floury confectionery products. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2017, no. 4 (66), pp. 260-262 (in Russian).
5. Gandhi S., Gat Y., Arya S., Kumar V., Panghal A., Kumar A. Natural sweeteners: health benefits of stevia. *Foods and Raw Materials*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 392-402. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-392-402>
6. Lazareva T. N., Koryachkina S. Ya. Assessment of the quality of gingerbread made with the use of medicinal and technical raw materials. *Khleboprodukty = Khleboproducity*, 2016, no. 5, pp. 54-56 (in Russian).
7. Moshkanova I. A., Novozhilova E. S., Vas'kina V. A. Modern production of gingerbread. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo [Confectionery and Bakery Production]*, 2017, no. 1-2 (169), pp. 44-47 (in Russian).
8. Gravelle A. J., Marangoni A. G. Ethylcellulose oleogels: structure, functionality, and food applications. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2018, vol. 84, pp. 1-56. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.002>
9. Kouzounis D., Lazaridou A., Katsanidis E. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with mono-glycerides and phytosterols in frankfurter sausages. *Meat Science*, 2017, vol. 130, pp. 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.004>
10. Tanti R., Barbut S., Marangoni A. G. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 61, pp. 329-337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.032>
11. Mattice K. D., Marangoni A. G. Oleogels in food. *Encyclopedia of food chemistry. Vol. 2*. Amsterdam, 2019, pp. 255-260. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21662-4>
12. O'Sullivan C. M., Barbut S., Marangoni A. G. Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: Composition and structural design considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, vol. 57, pp. 59-73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
13. Li M., McClements D. J., Liu X., Liu F. Design principles of oil-in-water emulsions with functionalized interfaces: Mixed, multilayer, and covalent complex structures. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, vol. 19, no. 6, pp. 3159-3190. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12622>
14. Feng W., Yue C., Wusigale Ni Y., Liang L. Preparation and characterization of emulsion-filled gel beads for the encapsulation and protection of resveratrol and  $\alpha$ -tocopherol. *Food Research International*, 2018, vol. 108, pp. 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.035>
15. Piornos J. A., Burgos-Díaz C., Morales E., Rubilar M., Acevedo F. Highly efficient encapsulation of linseed oil into alginate/lupin protein beads: Optimization of the emulsion formulation. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 63, pp. 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.031>
16. Lin D., Lu W., Kelly A. L., Zhang L., Zheng B., Miao S. Interactions of vegetable proteins with other polymers: Structure-function relationships and applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 68, pp. 130-144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
17. Tang Ch.-H. Emulsifying properties of soy proteins: A critical review with emphasis on the role of conformational flexibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, vol. 57, no. 12, pp. 2636-2679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067594>
18. Peng X.-Q., Xu Y.-T., Liu T.-X., Tang C.-H. Molecular mechanism for improving emulsification efficiency of soy glycinin by glycation with soy soluble polysaccharide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, vol. 66, no. 46, pp. 12316-12326. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03398>
19. Li R., Wang X., Liu J., Cui Q., Wang X., Chen S., Jiang L. Relationship between molecular flexibility and emulsifying properties of soy protein isolate-glucose conjugates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, vol. 67, no. 14, pp. 4089-4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06713>

20. Tian T., Teng F., Zhang S., Qi B., Wu C., Zhou Y., Li L., Wang Z., Li Y. A study of structural change during in vitro digestion of heated soy protein isolates. *Foods*, 2019, vol. 8, no. 12, art. 594. <https://doi.org/10.3390/foods8120594>
21. Voutsinas L. P., Cheung E., Nakai S. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. *Journal of Food Science*, 1983, vol. 48, no. 1, pp. 26-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14781.x>
22. Pelegri D. H. G., Gasparetto C. A. Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT-Food Science and Technology*, 2005, vol. 38, no. 1, pp. 77-80. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.013>
23. Leon A. M., Aguilera J. M., Medina W. T., Park D. J. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel. *Food Science and Technology International*, 2018, vol. 24, no. 5, pp. 414-423. <https://doi.org/10.1177/1082013218762210>
24. Li D. Proteins from land plants - Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
25. Ghazani M. S., Marangoni A. G. Healthy fats and oils. *Encyclopedia of food grains*. 2nd ed. Oxford, 2016, pp. 257-267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>
26. Bou R., Boon C., Kweku A., Hidalgo D., Decker E. A. Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsion. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2011, vol. 113, no. 6, pp. 724-729. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000524>
27. Shi J., Dai Y., Kakuda Y., Mittal G., Xue S. J. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée. *Food Control*, 2008, vol. 19, no. 5, pp. 514-520. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>
28. Vas'kina V. A., Dvoeglazova A. A. The use of whey to create an emulsion-foam structure in cream. *Pishchevaya industriya* [Food Industry], 2019, no. 2 (40), pp. 26-29 (in Russian).
29. Monastyrskii V. E., Vas'kina V. A. The use of encapsulated vegetable oil in the production of milk candies. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 2018, no. 9-10 (178), pp. 62-64 (in Russian).
30. Vas'kina V. A., Babarykina S. V., Panchenko Yu. Yu. Increasing the shelf life and quality of sweets with fruit and brittle inside. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 2018, no. 3-4 (175), pp. 20-22 (in Russian).

### Информация об авторах

Васькина Валентина Андреевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (Волоколамское шоссе, 11, 125080 Москва, Россия). E-mail: v.a.vaskina@inbox.ru

Кандроков Роман Хажсетович – кандидат технических наук, доцент кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (Волоколамское шоссе, 11, 125080 Москва, Россия). E-mail: nart132007@mail.ru

Хайдар-Заде Лолита Нигматовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Пищевая технология», Бухарский инженерно-технологического институт (ул. К. Муртазаева, 15, 200117 Бухара, Узбекистан). E-mail: haydarzade08@mail.ru

### Information about authors

Valentina A. Vaskina - D. Sc. (Engineering), Professor. Moscow State University of Food Production (11, Volokolamskoe highway, Moscow 125080, Russia). E-mail: v.a.vaskina@inbox.ru

Roman Kh. Kandrov - Ph.D. (Engineering). Bakery and Confectionery Technologies, Moscow State University of Food Production. (11, Volokolamskoe highway, Moscow 125080, Russia). E-mail: nart132007@mail.ru

Lolita N. Haydar-Zade - Ph.D. (Engineering), Associate Professor. Bukhara Engineering and Technological Institute, (K. Murtazoev Str., 15, Bukhara 200117, Uzbekistan). E-mail: haydarzade08@mail.ru

**ВУЧОНЫЯ БЕЛАРУСІ**  
**SCIENTISTS OF BELARUS**

**ИГОРЬ СТАНИСЛАВОВИЧ НАГОРСКИЙ**  
**(К 90-летию со дня рождения)**

17 февраля 2021 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Игоря Станиславовича Нагорского – академика Академии аграрных наук Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Российской академии наук, доктора технических наук, профессора.

И.С. Нагорский родился 17 февраля 1931 г. в Бобруйске. В 1948 г. поступил на факультет механизации Белорусской сельскохозяйственной академии, который с отличием окончил в 1953 г. В этом же году был принят в аспирантуру Института торфа Академии наук БССР. Над диссертацией работал под руководством члена-корреспондента АН БССР, профессора Ф.А. Опейко. В 1958 г. на объединенном совете институтов Отделения физико-математических и технических наук АН БССР успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование работы отвала бульдозера при добыче торфа на удобрение». С 1956 г. работал старшим инженером, младшим, старшим научным сотрудником Института торфа АН БССР. В 1964–1980 гг. – заведующий лабораторией и отделом, в 1980–1983 гг. – заместитель директора по научной работе. В 1978 г. И.С. Нагорский защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Нестационарные процессы динамики сельскохозяйственных машин», в 1980 г. ему присвоено ученое звание профессора по специальности «Автоматическое управление и регулирование, управление технологическими процессами (по отраслям сельскохозяйственного производства)».



В 1983 г. И.С. Нагорского назначили директором Центрального научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР (с 1994 г. – БелНИИ механизации сельского хозяйства), с 1998 г. – главный научный сотрудник Института механизации сельского хозяйства НАН Беларуси.

В 1988 г. И.С. Нагорский избран членом-корреспондентом ВАСХНИЛ по специальности «механизация и электрификация процессов сельскохозяйственного производства», а в 1991 г. – действительным членом (академиком) ВАСХНИЛ. В 1992–1998 гг. – академик-секретарь Отделения механизации и энергетики Академии аграрных наук Республики Беларусь. В 1992 г. Игорь Станиславович Нагорский избран академиком Академии аграрных наук Республики Беларусь, в 2003 г. – академиком Национальной академии наук Беларуси, в 1991 г. – академиком Российской академии сельскохозяйственных наук.

Игорь Станиславович Нагорский провел научные исследования по изучению физико-механических и технологических свойств кормовых материалов, процессов дозирования кормов, результаты которых были использованы при разработке технических средств для механизации технологических процессов по приготовлению комбикормов. Одним из первых в Беларуси начал систематически применять при проведении научных исследований самую передовую технику того времени – аналоговые вычислительные машины. Это дало возможность ученому на основе математических и физических методов проявить в полной мере свои познания в области процессов взаимодействия рабочих органов с сельскохозяйственными материалами. Под его

руководством и при непосредственном участии еще в 60-е годы прошлого столетия сотрудники возглавляемой им лаборатории стали осваивать методы решения инженерных задач на основе анализа динамических систем, а также системы автоматического управления сельскохозяйственными агрегатами. Это позволило создать средства автоматизации технологических процессов зерноуборочных комбайнов, оптимизации режимов загрузки двигателей энергонасыщенных тракторов, автоматического вождения корнеклубеуборочных машин. И. С. Нагорский разработал теоретические методы оптимизации процессов и режимов работы сельскохозяйственных машин, что позволяло выбирать рациональные параметры их использования на начальных стадиях разработки и существенно сокращать затраты времени и средств на эксперименты.

В последние годы деятельность Игоря Станиславовича Нагорского была направлена на успешное выполнение проводимых коллективом НПО «Белсельхозмеханизация» научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию средств механизации для интенсивных технологий возделывания основных сельскохозяйственных культур в Беларуси. Реализуя эти идеи, коллектив НПО «Белсельхозмеханизация» разработал для интенсивных технологий производства новые комплексы сельскохозяйственных машин, которые выпускаются промышленными предприятиями страны. Было налажено сетевое планирование выполнения важнейших разработок, обеспечивающее параллельное проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, изготовление и испытание макетных и опытных образцов, что позволило уменьшить сроки проведения многих разработок в 2–3 раза. Под его руководством созданы эффективные сельскохозяйственные машины нового поколения, обеспечивающие высокую степень ресурсосбережения при производстве сельскохозяйственной продукции за счет адаптации их рабочих органов к почве, растениям и обрабатываемым сельскохозяйственным материалам, а также благодаря высокому уровню унификации.

В течение длительного времени И. С. Нагорский вел преподавательскую работу на организованной в Белорусском государственном аграрно-техническом университете по его инициативе кафедре «Основы научных исследований и проектирования». Там он читал курс лекций по математическому моделированию технологических процессов и объектов сельскохозяйственного производства магистрантам, аспирантам и соискателям.

Не забывал Игорь Станиславович и свою альма-матер – Белорусскую государственную сельскохозяйственную академию. Часто посещал академию, читал здесь лекции, был членом научного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.01. В 1995 г. И. С. Нагорскому присвоено звание «Почетный доктор Белорусской государственной сельскохозяйственной академии».

На протяжении 50 лет (с 1956 г. и до конца своих дней) Игорь Станиславович плодотворно работал, готовя кадры высшей научной квалификации – 7 докторов и 20 кандидатов технических наук. Им опубликовано более 420 научных работ, в том числе 18 монографий. Ряд трудов были изданы за рубежом. Имел 60 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Научные достижения академика И. С. Нагорского были высоко оценены в республике – он награжден орденом Трудового Красного Знамени (1979 г.), Почетными грамотами Верховного Совета БССР и Совета Министров Республики Беларусь, медалями ВДНХ.

Игоря Станиславовича всегда отличали прогрессивные взгляды на решение важных производственных и научных проблем, энергичность, демократичность, а также большое трудолюбие, организаторские способности, доброжелательность и отзывчивость. Академик И. С. Нагорский остается признанным авторитетом для ученых-аграриев Беларуси, крупным специалистом в области механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, внесшим большой вклад в развитие агроинженерных исследований в нашей стране, одним из тех, кто опережал свое время.

*П. П. Казакевич, В. В. Азаренко, Д. И. Комлач, Н. Г. Бакач, В. И. Передня*